



EESTI MAAÜLIKOOL  
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

**Helari Buht**

**UURING KLAASIJÄÄTMETE LADUSTAMISEGA  
SEONDUVATEST KESKKONNAOHTUDEST**

**RESEARCH ABOUT ENVIRONMENTAL ASPECTS OF  
WASTE GLASS STORAGE**

Magistritöö  
Maastikukaitse- ja hoolduse õppekava

Juhendajad: Professor Mait Kriipsalu, *PhD*  
Dotsent Kaja Orupõld, *PhD*

Tartu 2018

|   |               |                                      |            |
|---|---------------|--------------------------------------|------------|
| Eesti Maaülikool  |               | Magistritöö lühikokkuvõte            |            |
| Kreutzwaldi 1, Tartu 51006  |               |                                      |            |
| Autor: Helari Buht  |               | Õppekava: Maastikukaitse ja -hooldus |            |
| Pealkiri: Uuring klaasijäätmete ladustamisega seonduvatest keskkonnaohtudest  |               |                                      |            |
| Lehekülgi: 57   | Jooniseid: 11 | Tabeleid: 15                         | Lisasid: 2 |
| Osakond / Õppetool: Põllumajandus ja keskkonnainstituut / Keskkonnakaitse ja maastikukorralduse õppetool<br>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 1.9. Keskkonnaohtlike aineid käsitlevad uuringud; T270<br>Juhendaja(d): Mait Kriipsalu, <i>PhD</i> , Kaja Orupõld, <i>PhD</i><br>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018   |               |                                      |            |
| <p>Klaasijäätmete võimalikku ohtlikust keskkonnale on uuritud vähe. Tehtud uuringud keskenduvad üldjuhul kristallklaasitööstuse jäätmetele, mitte pakendiklaasi keskkonnamõjule. Katsetest on selgunud, et toksilisi metalle sisaldavast klaasist võib neid (plii, arseen, baarium, tsink, kaadmium, nikkel, koobalt) välja leostuda. Leostuvate metallide kogused pole küll suured, aga see näitab, et klaas ei pruugi olla nii inertne, nagu on alati arvatud ning see osutab vajadusele ka pakendiklaasijäätmeid uurida. Magistritöö eesmärk on uurida ladustatud klaasijäätmete omadusi ja hinnata, kas ladustamisega kaasneb keskkonnamõjusid. Magistritöös uuriti klaasijäätmete fraktsioonilist ja liigilist koostist kogu jäätmekäitlusahela lõikes, klaasijäätmete leovee füüsikalise-keemilise omadusi (pH-d, elektrijuhtivust, vees lahustuva süsiniku ja lämmastiku sisaldust, metallide sisaldust) ja fütotoksilisust.</p> <p>Kristallklaasijäätmetest leostub metalle kogustes, mis on suuremad veekogusse või pinnasesse juhitava heit- ja sademevee ohtlike ainete sisalduste piirväärtustest. Uurimistöö tulemused näitasid, et pakendiklaasijäätmed jäävad peale järeksortimist muude jäätmetega segunenuks ning pakendiklaasijäätmetest võib keskkonnale potentsiaalselt ohtlikuks pidada sortimisel üle jäävat peent jääk-klaasi. Samas osutusid kõik proovid piisavalt ohutuks, et neid võiks tavajäätmete prügilasse ladestada. Kuigi analüüsides on näha, et nii kristallklaasijäätmetest kui ka pakendiklaasi sortimisel üle jäävast jääk-klaasist leostub metalle, siis nende sisaldus leovees taimede idanevusele negatiivset mõju ei avaldanud. Sarnase tulemuseni on jõutud Rootsis läbi viidud uuringu käigus. Pakendiklaasijäätmete võimalikku keskkonnaohtlikust tuleks silmas pidada vaheladudes, kus heit- ja sademeveet kokku ei koguta. Lihtsaim lahendus võimaliku reostuse vältimiseks on klaasijäätmete ladustamine kohta, kus nad vihma kätte ei jää. Võimaliku reostuse levimist saab vältida ka kui heit- ja sademevesi kokku koguda ning puhastada või kanalisatsiooni suunata.</p> |               |                                      |            |
| Märksõnad: Jäätmekäitlus, kristallklaas, pakendiklaas, metallid, leostuvus  |               |                                      |            |

|  |             |   |               |
|--|-------------|---|---------------|
| Estonian University of Life Sciences<br>Kreutzwaldi 1, Tartu 51006   |             | Abstract of Master's Thesis                       |               |
| Author: Helari Buht  |             | Curriculum: Landscape Protection and Preservation |               |
| Title: Research about environmental aspects of waste glass storage   |             |   |               |
| Pages: 57  | Figures: 11 | Tables: 15  | Appendixes: 2 |
| Department / Chair: Institute of Agricultural and Environmental Sciences / Chair of Environmental Protection and Landscape Management<br>Field of research and (CERC S) code: 1.9. Research into Substances Hazardous to the Environment; T270<br>Supervisors: Mait Kriipsalu, <i>PhD</i> , Kaja Orupõld, <i>PhD</i><br>Place and date: Tartu 2018   |             |   |               |
| <p>There are only a few researches about possible environmental impacts of waste glass. These researches mostly focus on crystal glass industry waste, not on packaging glass waste. Tests have shown that metals (lead, arsenic, barium, zinc, cadmium, nickel, cobalt) can leach out of glass. The amounts of leaching metals are not high but it shows us that glass might not be as inert as it is commonly considered as. That points out the need to also examine the properties of packaging glass waste. The aim of the master's thesis is to examine properties of stored waste glass and to assess if waste glass storage has any environmental impacts. Waste glass fractions and types were examined across the entire waste management chain, also the physical-chemical properties (pH, conductivity, water soluble carbon and nitrogen content, metal content) and phytotoxicity of leachate water were examined.</p> <p>The amount of metals leaching out of crystal glass waste is higher than the limit values for concentrations of hazardous substances in the waste- and rainwater that is guided into water body or soil. The results of master's thesis show that packaging glass waste is still mixed with other wastes after secondary sorting and residual glass from sorting packaging glass waste is potentially dangerous to the environment. However, all the examined samples were safe enough to be deposited in non-hazardous waste landfill. Although it can be seen from the analyses that metals are leaching from the crystal glass waste and from the residual glass from sorting packaging glass waste, their content in leachate water doesn't affect germination of plants negatively. A similar result has been concluded in a Swedish study. The potential danger to the environment from packaging glass waste should be taken into account at temporary storage places, where waste- and rainwater isn't being collected. Easiest way to avoid potential pollution is to store waste glass to place where rainwater cannot reach it. Possible spread of pollution can also be avoided if waste- and rainwater is collected and cleaned or guided into sewerage.</p> |             |   |               |
| Keywords: waste management, crystal glass, packaging glass, metals, leaching   |             |   |               |

# Sisukord

|  |    |
|--|----|
| SISSEJUHATUS .....   | 6  |
| LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....   | 8  |
| 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....   | 9  |
| 1.1. Klaas .....   | 9  |
| 1.2. Jäätmekäitluse põhimõtted .....   | 10 |
| 1.2.1. Hierarhia .....   | 10 |
| 1.2.2. Taaskasutus .....   | 11 |
| 1.2.3. Klaasijäätmete kogumine .....   | 13 |
| 1.2.4. Klaasi sortimine ja vaheladustamine .....                                     | 15 |
| 1.2.5. Ladestamine .....   | 17 |
| 1.3. Klaasjäätmete keskkonnoahtlikus .....   | 19 |
| 2. MATERJAL JA METOODIKA .....   | 21 |
| 2.1. Proovivõtukohad, proovide võtmine ja ettevalmistamine .....                     | 21 |
| 2.1.1. Orreforsi klaasitööstus Rootsis .....   | 21 |
| 2.1.2. Krynicki Glass OÜ Järvakandis .....   | 22 |
| 2.1.3. Jäätmekäitluskeskused Eestis .....  | 23 |
| 2.2. Laboritööd .....  | 24 |
| 2.2.1. Sõelanalüüs ja liigiti sortimine .....  | 24 |
| 2.2.2. Kuivaine ja orgaanilise aine sisalduse määramine .....                        | 25 |
| 2.2.3. Leovete valmistamine ja analüüs .....   | 25 |
| 2.3. Andmetöötlus .....  | 27 |
| 3. TULEMUSED JA ARUTELU .....  | 28 |
| 3.1. Orreforsi proovide analüüside tulemused .....                                   | 28 |
| 3.1.1. Sõelanalüüs, kuivaine ja orgaanilise aine sisaldus .....                      | 28 |
| 3.1.2. Leovesi .....   | 30 |
| 3.2. Segaolemejäätmete sortimisuuring .....  | 35 |
| 3.3. Väätisa ja Järvakandi proovide analüüside tulemused .....                       | 36 |
| 3.3.1. Sõelanalüüs ja liigiti sortimine, kuivaine ja orgaanilise aine sisaldus ..... | 36 |
| 3.3.2. Leovesi .....   | 38 |
| 3.4. Keskkonnoahtlikus .....   | 42 |
| KOKKUVÕTE .....  | 44 |
| KASUTATUD KIRJANDUS .....  | 46 |
| SUMMARY .....  | 51 |

|  |    |
|--|----|
| LISAD .....  | 53 |
| Lisa 1. Orreforsi proovide sõelanalüüsi tulemused .....                                | 54 |
| Lisa 2. Väätsa ja Järvakandi proovide sõelanalüüsi ja liigiti sortimise tulemused..... | 55 |

## SISSEJUHATUS

Klaasil on väga palju kasutusalasid. Peamiselt leiab klaas kasutamist pakenditena, moodustades üle 50 % Euroopas toodetud klaasist (The EU... 2016), kuid seda leidub ka elektroonikatoodetes, samuti kasutatakse klaasi ehituses ja kunstis. Klaasi peamiseks koostisosadeks on ränidioksiid ( $\text{SiO}_2$ ), naatriumkarbonaat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), kaltsiumkarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) ning magneesium- ( $\text{MgO}$ ) ja alumiiniumoksiid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Vastavalt vajadusele muuta klaasi omadusi muudetakse klaasi koostist.

Euroopas koguti 2014. aastal 11,6 miljonit tonni pakendiklaasijäätmeid, mis moodustas 74 % kogu tekkinud pakendiklaasijäätmetest (The European... 2016). Eestis on pakendiklaasi taaskasutamise sihtarv 70 % (Pakendiseadus 2004, §36 lg 3). Pakendiklaasijäätmete kogumisega tegelevad Eestis OÜ Eesti Pandipakend, MTÜ Eesti Taaskasutusorganisatsioon, MTÜ Eesti Pakendiringlus ja OÜ Tootjavastutusorganisatsioon, kellel on jäätmete kogumiseks üles seatud üle-eestiline konteinerivõrgustik. See osa klaasist, mida taaskasutusorganisatsioonid kokku koguda ei suuda, jõuab olmejäätmete hulgas prügilatesse. Olmejäätmetes võib klaasi olla 4,1–6 % (Eestis tekkinud... 2013). Ka see osa klaasist, mis olmejäätmete koosseisus Iru prügipõletusettevõttesse jõuab, ladestatakse koos tuhaga prügilatesse.

Taaskasutusorganisatsioonide poolt kogutud pakendijäätmed ja mõnel pool ka eelnevalt sortimata olmejäätmed sorditakse üle jäätmekäitluskeskustes või prügilates. Taaskasutuskõlblikud materjalid ladustatakse ning -kõlbmatud materjalid ladestatakse. Inertseks peetavat klaasi ladustatakse sageli lahtise taeva all, pööramata tähelepanu sellele, et klaasijäätmed on paratamatult muude jäätmetega segunenud. Võib eeldada, et ladustatud klaasi hoidla võib keskkonnale teatud mõju avaldada.

Keskkonda võib reostada ka klaasi tootmine. Kristallklaasitehaste lähiumbruse pinnastest võetud proovidest on leitud suurtes kogustes raskmetalle (pliid, arseeni, kaadmiumi), mida on läbi aegade kasutatud klaasilisanditena. On leitud, et mida suurem on klaasijäätmeid sisaldavates pinnastes metallide kontsentratsioon, seda vähem elab seal mullaorganisme. Raskmetalle on eriti rohkesti kasutatud kristallklaasi tootmisel. Uuringud on näidanud, et

teatud tingimustel võib kristallklaasist toksilisi metalle välja leostuda. See peaks andma meile märku, et ka pakendiklaasijäätmel ei pruugi olla nii inertsed kui on alati arvatud. Antud teema kohta on varem sarnaseid uuringuid tehtud üksikuid ning needki on kristallklaasitööstusega seotud reostuse kohta. Pakendiklaasi võimalikku keskkonnohtlikust on uuritud väga vähe.

Käesoleva magistritöö eesmärk on uurida ladustatud klaasijäätmete omadusi ja hinnata ladustamisega kaasnevaid keskkonnamõjusid.

Magistritöös uuriti klaasijäätmete fraktsioonilist ja liigilist koostist kogu jäätmekäitlusahela lõikes, klaasijäätmete leovee füüsikalisi-keemilisi omadusi (pH-d, elektrijuhtivust, süsiniku ja lämmastiku sisaldust, metallide sisaldust) ja fütotoksilisust ning saadud tulemuste põhjal hinnati klaasijäätmete ladustamise mõju keskkonnale. Lisaks tehti magistritöö käigus olmejäätmete sortimisuuring, mille eesmärgiks oli teada saada, kui suure osa moodustab klaas prügilasse jõudvatest segaolmejäätmetest.

Töö esimeses osas kirjeldatakse klaasi olemust, selle käitlemist Eestis ning tuuakse näiteid klaasijäätmega seotud reostuste kohta maailmas. Teises osas kirjeldatakse proovivõtukohti ning proovide analüüsimise metoodikat. Kolmas peatükk sisaldab analüüsitud tulemusi ja järeldusi klaasijäätmete ladustamise keskkonnamõju kohta.

Töö autor soovib tänada juhendajaid Mait Kriipsalu ja Kaja Orupõldu kasulike nõuannete ja igakülgse abi eest, Linnaeuse ülikooli (Rootsi) ja Eesti Maaülikooli ning Paikre jäätmekäitluskeskust võimaluste eest osaleda rahvusvahelistel kursustel „Glass Mining in Practice 2017“ ja „Application of Circular Economy Principles in Landfills“. Autor tänab Väätza prügilat ja Krynicki Glass OÜ-d heatahtliku koostöö eest.

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

EPP – OÜ Eesti Pandipakend

ETO – MTÜ Eesti Taaskasutusorganisatsioon

TVO – OÜ Tootjavastutusorganisatsioon

KA – kuivaine, %

OA – orgaaniline aine, %

GR – idanevuse määr, %

GL – idanevuse indeks, %

$G_x$  – seemnete idanevus proovis, tk

$G_0$  – seemnete idanevus kontrollproovis, tk

$L_x$  – keskmine idujuure pikkus proovis, mm

$L_0$  – keskmine idujuure pikkus kontrollproovis, mm

EC – elektrijuhtivus,  $\mu\text{S}/\text{cm}$

TC – üldorgaaniline süsinik (*total carbon*), mg/l

IC – anorgaaniline süsinik (*inorganic carbon*), mg/l

TOC – orgaaniline süsinik (*total organic carbon*), mg/l

TN – üldlämmastik (*total nitrogen*), mg/l



# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Klaas

Looduses võib klaas tekkida, kui silikaadirikkad kivimid kõrgel temperatuuril kuumenevad ning enne kristalliseerumist jahtuda jõuavad (McMahon 2017). Inimesed on osanud klaasi teha juba mitmeid tuhandeid aastaid ning enne seda kasutati looduslikult tekkinud klaasi üht vormi – obsidiaani (History of... 2018a).

Klaasi valmistamise retsept on tuhandete aastate jooksul jäänud samasuguseks. Peamiselt koosneb laiatarbeklaas ränidioksiidist ( $\text{SiO}_2$ ) (70–74 %), mida leidub väga palju liivas. Selleks, et klaasi sulatamistemperatuuri vähendada, lisatakse juurde naatriumkarbonaati ehk soodat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Naatriumkarbonaadi lisamisel alaneb küll sulamistemperatuur, aga klaas muutub vees lahustuvaks. Seetõttu peab segusse lisama kaltsiumkarbonaati ( $\text{CaCO}_3$ ), mida leidub lubjakivis ning magneesium- ( $\text{MgO}$ ) ja alumiiniumoksiidi ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (History of... 2018b). Pakendiklaasile värvuse andmiseks lisatakse kroomi (Cr) (roheline värv), raudoksiidi ( $\text{FeO}$ ) (pruun värv) või koobalti (Co) (sinine värv) (Keskkonnaministeerium 2018).

Nagu tavaklaasi tootmisel, kasutatakse ka kristallklaasi tootmiseks liiva, lupja ja soodat. Kristallklaasi puhul asendatakse kaltsiumkarbonaat suuremal või vähemal määral pliioksiidiga ( $\text{PbO}$ ) ning naatriumkarbonaat kaaliumoksiidiga ( $\text{K}_2\text{O}$ ) (History of... 2018b). Pliirikkaks kristallklaasiks nimetatakse klaasi, milles on vähemalt 24 % pliioksiidi. Kui pliioksiidi osakaal on väiksem, kutsutakse seda lihtsalt kristallklaasiks. (Sheffield Assay... 2013)

Lisaks pudeli- ja kristallklaasile toodetakse mitmeid klaasiliike, mis erinevad üksteisest valmistamisel lisatavate komponentide poolest, mis klaasi omadusi muudavad. Näiteks borosilikaatklaas koosneb 70–80 % ulatuses ränidioksiidist ( $\text{SiO}_2$ ) ning 7–13 % ulatuses booroksiidist ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), mis annab talle omaduse kiirele temperatuurimuutusele vastu pidada. Samamoodi on erineva elementide sisaldusega elektroonikatoodetes olevad

klaaselemendid. (British Glass 2018) Karastatud klaasi tootmisel sulatatakse tavaklaas sulamispunktini ning siis jahutatakse kiiresti. See tõstab klaasi vastupidavust kuni 4 korda. Sellist klaasi kasutatakse klaasuste, -seinte ja -lagede valmistamiseks ning transpordivahendites. (McMorrough, Wheeler 2013)

Klaasi kasutataksegi igapäevaselt väga paljudes kohtades, peamiselt pakenditena, nõudena ning muude esemetena. Mistahes ostuga kaasneb üldjuhul mingisugune pakend, olgu see siis klaasist, paberist, plastist või muust materjalist (Keskkonnaministeerium 2017a). Pakendid on vajalikud, et kaitsta tooteid teekonnal tootjast tarbijani, säilitada toote omadusi, kergendada kauba vedu ning pakendile saab märkida toote kohta vajalikku infot (Keskkonnaministeerium 2017b).

## **1.2. Jäätmekäitluse põhimõtted**

### **1.2.1. Hierarhia**

Olmejäätmed koosnevad kodumajapidamistes, kaubanduses, teeninduses või mujal tekkinud sarnaste koostiste ja omadustega jäätmetest (Jäätmeseadus 2004, § 7). Aastal 2016 tekkis Eestis keskmiselt ühe elaniku kohta 376 kilogrammi olmejäätmeid (KK82: Jäätmed 2017). Pakendijäätmed moodustavad kuni 30 % olmejäätmete massist, mahuliselt võib pakendijäätmete osakaal ulatuda kuni 60 %-ni (Keskkonnaministeerium 2017b). Pakendijäätmete teke oleneb väga suurel määral tarbijate majanduslikust olukorrast. Majanduslanguse ajal väheneb ka pakendijäätmete hulk, majandustõusu ajal see suureneb. Umbes poole pakendijäätmete massist moodustavad plast ning paber ja papp, viiendiku moodustab klaas. (Olemaoleva jäätmekäitluse... 2014)

Jäätmete käitlemisel on oluline, et keskkonnamõju oleks võimalikult väike. Selle saavutamiseks järgitakse jäätmekäitlushierarhiat (joonis 1), mis on sätestatud Eesti Jäätmeseaduses (2004, § 22 lg 1). Jäätmekäitlushierarhia põhimõte pärineb Euroopa Liidu jäätmete raamdirektiivist, mille järgimist eeldatakse kõigilt Liidu liikmesriikidelt (Euroopa Parlamendi... 2008).



**Joonis 1.** Jäätmekäitluse hierarhia. Eelistatumad meetodid on ülalpool (Keskkonnaministeerium 2017a).

Hierarhias on eelistatud ülalpool olevad lahendused. Oma tegevuses tuleb eelkõige vältida jäätmete teket ning kui see pole võimalik, siis järjekorras järgmisi lahendusi kasutada. Alles viimase lahendusena tuleks jäätmed ringlusest üldse kõrvaldada – prügilasse ladestada. (Keskkonnaministeerium 2017a; Kriipsalu *et al.* 2016)

### 1.2.2. Taaskasutus

Jäätmete ringlussevõtt on toiming, mille eesmärgiks on taaskasutada jäätmeid, neid ümber töödeldes toodeteks, materjalideks või aineteks, et neid uuesti samadel või muudel kasutuseladel tarbesse võtta (Jäätmeseadus 2004, § 15 lg 4). Eesti riigi eesmärk on

2020. aastaks vähemalt 50 % kodumajapidamistest kogutud paberi-, plasti-, metalli- ja klaasijäätmetest uuesti ringlusse võtta (Riigi jäätmekava... 2014).

Kasutatud materjale saab uuesti kasutada kahel viisil. Kui tooteid või nende komponente kasutada nende esialgsel otstarbel on tegemist korduskasutusega (Jäätmeseadus 2004, § 14<sup>1</sup> lg 1). Kui jäätmeid kasutada viisil, et nad asendavad teisi materjale, mida muidu oleks samal otstarbel kasutatud, näiteks uute toodete tootmiseks, on tegemist taaskasutamisega (Jäätmeseadus 2004, § 15 lg 1). Klaasijäätmete korduskasutuse eeliseks taaskasutuse ees on ümbersulatamisega kaasneva energiakulu ära jäämine (Keskkonnaministeerium 2018).

Klaas on ümbertöötlemiseks väga hea materjal – teda võib ümber sulatada lõpmatu arv kordi, kusjuures tema omadused ei halvene (Jani, Hogland 2014). Klaasijäätmete lisamine toorainesse klaasi tootmisel alandab energiakulu kuni 32 %, seetõttu et klaasipuru lisamisel alaneb klaasimassi sulamistemperatuur. Klaasijäätmeid lisatakse toorainesse purustatud kujul. Ühe tonni jäätmeklaasipuru lisamisel sulamisse säästab 1,2 tonni klaasi tooraineid. (Europe's Environment... 1995; Keskkonnaministeerium 2018)

Kuigi klaasijäätmete kasutamine vähendab energiakulu uue klaasi tootmisel, võib selle kasutamine olla vastunäidustatud. Seda seetõttu, et jäätmeklaas võib olla erineva keemilise koostise ja värviga ning see võib uue klaasi omadusi halvendada (Jani, Hogland 2014). Eelkõige taaskasutataksegi vaid pakendiklaasi uue pakendiklaasi või klaasvilla tootmiseks (Schmitz *et al.* 2011). Euroopas koguti 2014. aastal 74 % tekkinud klaasijäätmetest (11,6 miljonit tonni) (The European... 2016). Klaasijäätmete taaskasutuse sihtarv on Eestis alates 2009. aastast 70 % (Pakendiseadus 2004, § 36 lg 3). Antud sihtarvu on enamjaolt suudetud täita, aga esineb ka aastaid, kus seda teha pole suudetud. Näiteks 2015. aastal taaskasutati 62 % tekkinud klaasijäätmetest (Pakendijäätmete taaskasutamine... 2018). Kuna klaasi peetakse üldjuhul inertseks, siis ei pöörata tähelepanu selle taaskasutamisega kaasnevatele keskkonnamõjudele.

### 1.2.3. Klaasijäätmete kogumine

Pakendiaktsiisi seaduse (1996, §1) kohaselt maksustatakse kõik Eestis turule lastud pakendid. Selleks, et ettevõtte ei peaks pakendite pealt aktsiisi maksma, peab ta täitma Pakendiaktsiisi seaduse (1996) § 8 olevad nõuded pakendite ja pakendijäätmete kogumise ning taaskasutamise kohta. Nõuete täitmiseks on pakendiettevõtetal kaks võimalust: nad võivad ise oma pakendijäätmed koguda või anda see kohustus üle taaskasutusorganisatsioonile, mida Eestis on neli. Sel juhul sõlmib kohustused üle võtnud organisatsioon lepingu jäätmekäitlusettevõtetega, et pakendijäätmed koguda ja järelsortida ning kulud selle eest tasub pakendiettevõtja (Kriipsalu *et al.* 2016).

OÜ Eesti Pandipakend (EPP) on taaskasutusorganisatsioon (loodud 2005 aastal), mis tegeleb pandiga märgistatud pakendite kogumisega, transpordiga, sortimisega, tagastatud pakendite üle arve pidamisega ning taaskasutamisega (Eesti Pandipakend 2018). Vee, karastusjookide, õllede ning muude lahjade alkoholsete jookide joogipakenditele on Pakendiseadusega (2004, §19) määratud tagatisraha ehk pant, mis lisatakse ostmisel toote hinnale juurde. Pandipakendi märgisega on märgistatud plastmassist, klaasist ja metallist valmistatud pakendid, mis võivad olla ühekordse kasutusega või korduskasutuspakendina. Klaaspudeleid saab uuesti täita 40–50 tsüklit. Pandisüsteemi kaudu seda koguda on kõige keskkonnasäästlikum. (Eesti Pandipakend 2018; Kriipsalu *et al.* 2016) Aastal 2016 oli seadustest tulenevad taaskasutuskohustused EPP-le üle andnud 321 pakendiettevõtet. Tol aastal paisati turule 15 200 tonni ühekordse kasutuse pandipakendeid, millest klaaspakendid moodustasid 8 600 tonni. Samal aastal suunati taaskasutusse 12 900 tonni pakendeid, mis moodustas 85 % turule tulnud pakendeist. Klaaspakendite kogumismäär oli 87 %, st koguti 7 500 tonni klaaspakendeid. Pakendite äraandmiseks on paigutatud üle Eesti 664 taaraautomaati. (Ülevaade Eesti... 2017)

Ülejäänud pakendite kogumist korraldavad MTÜ Eesti Taaskasutusorganisatsioon, MTÜ Eesti Pakendiringlus ja OÜ Tootjavastutusorganisatsioon. Kõik need organisatsioonid on loodud pakendiettevõtjate poolt, mis tegelevad pakendatud kauba tootmise, maaletoomise ja müügiga. Kõik nad tegutsevad üle Eesti ning lisaks kogumisvõrgu haldamisele on nad kohustatud ka informeerima tarbijaid pakendite äraandmise võimalustest. (Eesti taaskasutusorganisatsioon 2018; Eesti Pakendiringlus 2018; Tootjavastutusorganisatsioon 2018)

Pakendiseaduse §17<sup>1</sup> lõige 1 (2004) alusel peavad taaskasutusorganisatsioonid tagama, et nende tagatisrahata pakendite kogumisvõrgustik oleks tihedusega:

- tiheasustusega alal, kus asustustihedus on üle 1 000 elaniku ühel ruutkilomeetril peab olema vähemalt üks kogumiskoht jäätmevaldajast 500 meetri raadiuses;
- tiheasustusega alal, kus asustustihedus on üle 500 elaniku ühel ruutkilomeetril peab olema vähemalt üks kogumiskoht jäätmevaldajast 1 000 meetri raadiuses;
- juhul kui elanikke on vähem kui 500 ühel ruutkilomeetril peab kogumiskoht olema omavalitsuses paiknevates asulates arvestusega üks kogumiskoht 500 elaniku kohta.

MTÜ Eesti Taaskasutusorganisatsioon (ETO) on loodud 2004. aastal. 2016. aastal andis ETO-le oma Pakendi- ja Pakendiaktiisiseadustest tulenevad kohustused üle 807 pakendiettevõtjat. Nende ettevõtete poolt turule toodud pakendatud kauba ja sellest tekkinud pakendijäätmete kogus oli 42 645 tonni. Organisatsioon kogus ja suunas taaskasutusse 26 939 tonni pakendijäätmeid, mis moodustas 63 % turule lastud pakenditest. Klaasijäätmete kogumismäär 2016 aastal oli 71,7 %. Pakendijäätmete kogumiseks on organisatsioonil üle 2 300 konteineri. (Eesti taaskasutusorganisatsioon 2018; Ülevaade MTÜ... 2017)

OÜ Eesti Pakendiringlus on loodud 2005. aastal. 2016. aastal oli organisatsioonile oma kohustused üle andnud 1 766 pakendiettevõtet. Nende poolt toodi turule peaaegu 72 000 tonni pakendeid. Samal aastal kogus ja suunas organisatsioon taaskasutusse pakendijäätmeid 46 202 tonni, mis moodustas 64 % turule lastud pakenditest. Klaaspakendeid koguti 11 853 tonni ning see moodustas üle 70% turule lastud kogusest. Pakendite kogumiseks on üle Eesti paigutatud ligi 2 100 konteinerit. (Eesti Pakendiringlus 2018; OÜ Eesti...2017)

OÜ Tootjavastutusorganisatsioon (TVO) on loodud 2009. aastal. TVO-le oli 2016. aastal oma kohustused üle andnud 1 100 pakendiettevõtet. TVO-ga lepingu sõlminud ettevõtete poolt lasti 2016. aastal turule 32 413 tonni pakendeid. Samal aastal TVO kogus ja suunas taaskasutusse 22 882 tonni pakendijäätmeid, mis moodustas 71 % turule lastud pakenditest. Klaaspakendeid lasti turule 3 500 tonni ning koguti 3 092 tonni ehk 88 %. Kogumiseks on üle Eesti paigutatud 1 498 konteinerit. (Tootjavastutusorganisatsioon 2018; Taaskasutusorganisatsiooni tegevusaruanne 2017)

Suur osa klaasijäätmetest kogutakse küll taaskasutusorganisatsioonide tegevuse läbi kokku, aga mitte päris kõik. Osa klaasist jõuab prügilatesse olmejäätmete hulgas. Säästva Eesti Instituudi poolt tehtud uuringust segaolmejäätmete koostise kohta selgus, et need sisaldavad 4,1–6 % klaasi. Enamiku olmejäätmetes leiduvast klaasist moodustasid klaaspakendid (88 %), mis võidaks koguda läbi taaskasutusorganisatsioonide. (Eestis tekkinud... 2013) Seega iseloomustab see näitaja klaaspakendite kogumissüsteemi toimimise tõhusust. Aastal 2015 tekkis Eestis olmejäätmeid 473 000 tonni (KK82: Jäätmed 2017). Arvutuslikult võis selles klaasi olla 19 400–28 400 tonni. Olmejäätmeid ladestati samal aastal 33 800 tonni (KK94: Kodumaine... 2017). Arvutuslikult võis neis klaasi olla 1 400–2 000 tonni. Kudjape prügimäe korrastamise käigus tehtud uuringutes selgus, et seal ladestatud jäätmed sisaldasid 1 % klaasi. Torma prügilasse ladestatud jäätmed sisaldasid 5,8 % klaasi. Högbytorpi prügilas Rootsis oli klaasi ladestatud jäätmete hulgas 6 %. (Hogland *et al.* 2016)

Suur osa olmejäätmeid põletatakse energia tootmiseks Iru elektrijaamas: 2015. aastal 244 562 tonni (Eesti Energia... 2016). Seega teoreetiliselt käis läbi põletusahju koos muude jäätmetega ka 10 000–14 600 tonni klaasijäätmeid.

Prügilatesse jõuab muud sorti klaasi ka näiteks ehitus- ja lammutusprahis, romusõidukites ja elektroonikas (Olemasoleva jäätmekäitluse... 2014). Neid tuleks koguda jäätmejaamade kaudu, kuhu inimesed neid viia saavad (Prügihunt 2009).

#### **1.2.4. Klaasi sortimine ja vaheladustamine**

Prügilates või mujal jäätmekäitlusettevõtetes järelsorditakse (sega)olmejäätmed käsitsi või masinate abil. Sortimisel eemaldatakse olenevalt vajadusest kasutuskõlblikud või -kõlbmatud materjalid, mis vaheladustatakse või ladestatakse prügila territooriumile. Tihti kombineeritakse mõlemat sortimisviisi. Olmejäätmete sortimine on raskendatud, sest erinevad jäätmed võivad oma tunnuste alusel kuuluda mitmesse jäätmeliiki. Klaasi eraldamist muude pakendite hulgast raskendab see, et purustid ja sõelurid kipuvad pudeleid katki tegema, mistõttu klaasikillud jäävad sortimisjäägi hulka ja lähevad raisku. (Kriipsalu *et al.* 2016)

Taaskasutusorganisatsioonide poolt kogutud jäätmed on juba sorditud ning prügilas tuleb need järelsortida – algul eemaldatakse kasutuskõlbmatu peenprügi ning siis sorditakse lahku paber ja papp, alumiinium- ja terastaara, plast ning klaas. Järelsorditavaid pakendeid reeglina eelnevalt ei purustata. Liigiti sorditud jäätmed vaheladustatakse ning nad jäävad ootama transporti edasise taaskasutuse tarbeks. (Kriipsalu *et al.* 2016) Inertseks peetavat klaasi hoitakse sageli lahtise taeva all (joonis 2).

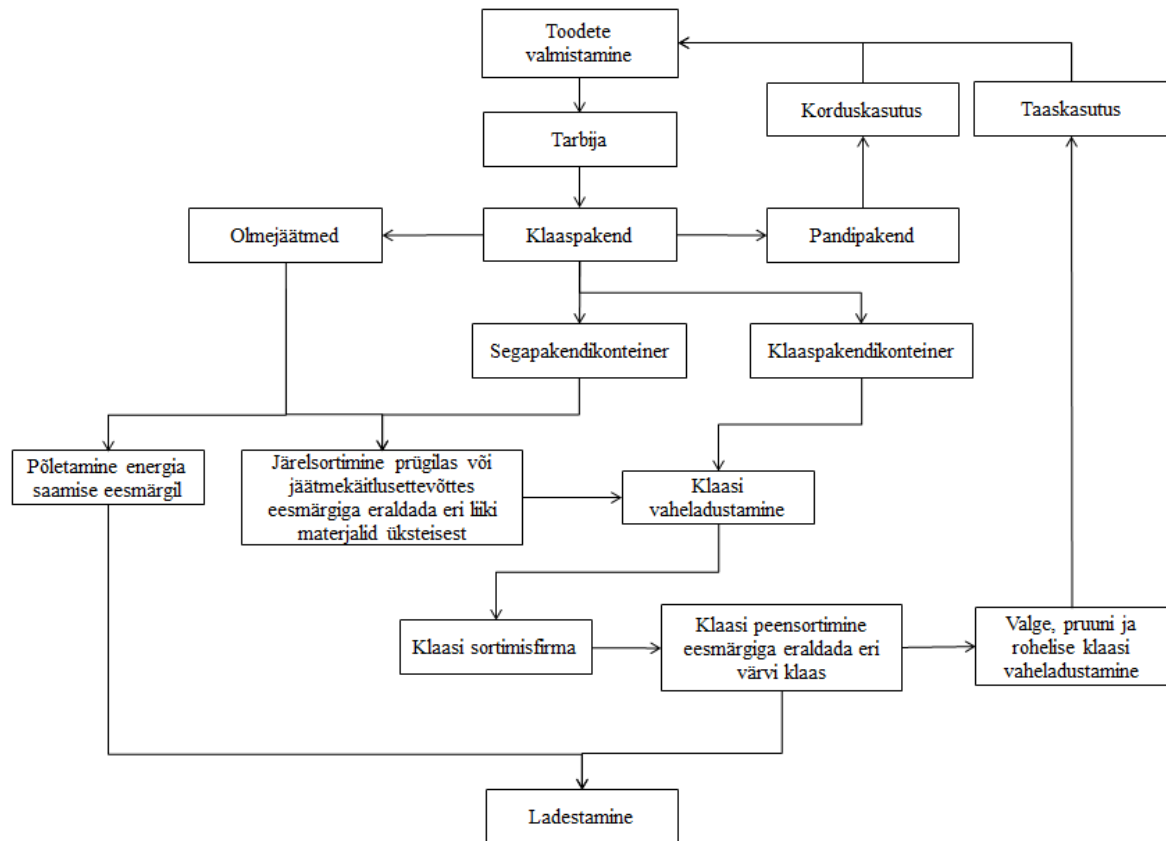


**Joonis 2.** Lahtise taeva all ladustatud klaasijäätmed (Helari Buht).

Klaasijäätmete edasiseks ringlussevõtuks ettevalmistamine eeldab juba selleks spetsialiseerunud ettevõtte olemasolu. Eelsorditud jäätmed kogutakse kokku kõikjalt Eestist ning käitlust õigustava koguse saavutamiseks tuuakse juurde ka välismaalt. Peensortimisele minevad jäätmed kõigepealt kaalutakse ning vaheladustatakse katuseta ladustamisplatsile mõneks nädalaks. Edasi jäätmed sorditakse sortimisliinil, eemaldatakse võõrised ning klaas sõelutakse või ka purustatakse peenemaks vastavalt kliendi vajadustele. Seejärel iga klaasi sort vaheladustatakse uuesti lahtise taeva all kuni see edasisele käitlejale transporditakse. Turustamiseks läheb läbipaistev (valge), roheline ja



pruun klaasipuru, mis moodustab umbes 80 % sissetulevast materjalist. Üle jääb liiga peen klaasipuru, orgaanikarikas materjal, kivid ja keraamika, plast, mis kõik ladestatakse prügilasse. (Järvik 2018; Jäätmete ringlussevõtuks... 2017) Joonisel 3 on skeem klaaspakendi ringluse kohta.



**Joonis 3.** Klaasiringlus. (Helari Buht)

### 1.2.5. Ladestamine

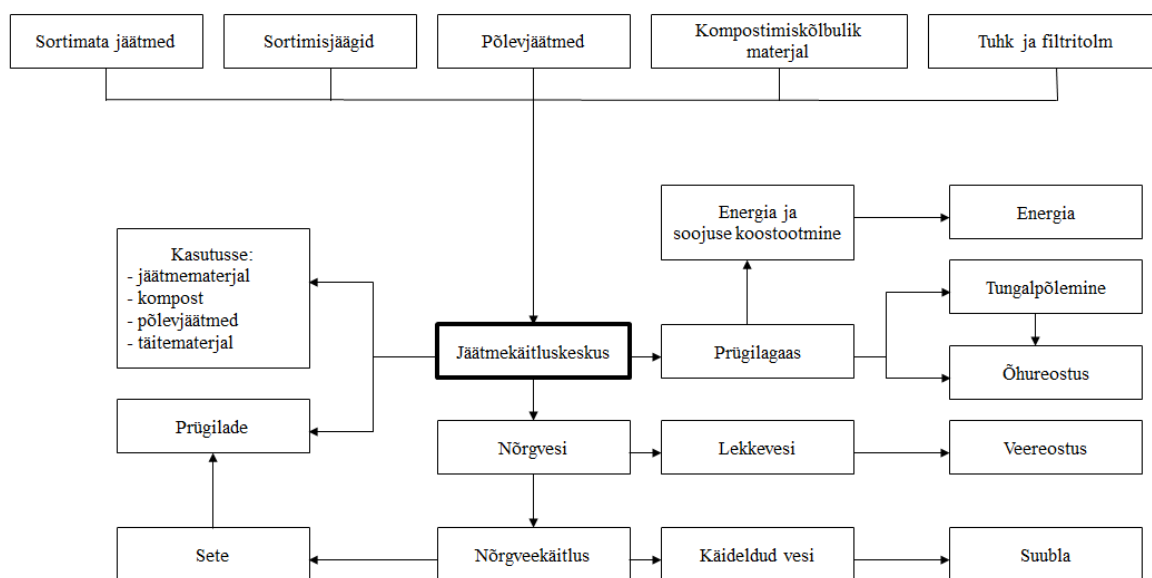
Läbi aegade on ladestamine olnud levinuim lahendus jäätmetest lahti saamiseks. Kuni 1950ndateni ladestati prügi kontrollimata kujul – kogu ladestatav prügi pandi kokku, prügilate keskkonnaohutusele ei pööratud tähelepanu. Selleks ajaks sai selgeks, et selline ladestamisviis reostas loodust ning mõjutas inimeste tervist. Seetõttu hakati prügilate põhju vooderdama, nõrgvett kokku koguma ja puhastama ning prügi pinnasega katma. Tänapäeval on prügilate konstruktsioon muutunud veelgi keerukamaks ja täiuslikumaks, et vähendada nende mõju ümbritsevale keskkonnale. (Kriipsalu *et al.* 2016; Nathanson 2010)

Olenevalt sellest, millised on jäätmete omadused võib prügilad jaotada (Nõukogu direktiiv... 1999):

- ohtlike jäätmete prügilad;
- tavajäätmete prügilad;
- püsijäätmete prügilad.

Jäätmekäitlus on aja jooksul edasi arenenud ning tänapäeval on vastavalt Euroopa Nõukogu otsusele 2003/33/EÜ igale prügilaliigile kehtestatud vastuvõtukriteeriumid, mida prügilad järgima peavad (Prügilasse jäätmete... 2010). Jäätmeid, millel muud kasutust ei ole, ladestatakse, sortimata olmejäätmeid prügilatesse ladestada ei tohi (Jäätmeseadus 2004, § 36 lg 1).

Tänapäeval ei ole prügilad enam mitte pelgalt prügi ladestamispaigad, vaid jäätmekäitluskeskused, kus lisaks sorditakse ja töödeldakse jäätmeid ümber ning valmistatakse jäätmekütust. Jäätmete ladestamine prügilatesse on üks osa jäätmekäitlusprotsessist. Jäätmekeskusesse tuuakse jäätmed (sisendid) ning neist saadakse väljundid – stabiliseerunud jäätmed, prügilavesi ja -gaas (joonis 4). (Kriipsalu *et al.* 2016)



**Joonis 4.** Jäätmeladestamise sisendid ja väljundid (Kriipsalu *et al.* 2016).

Jäätmete ladestamisega prügilatesse kaasnevad keskkonnahäiringud. Õigesti ehitatud prügila on keskkonnale suhteliselt ohutu, sest mõjusid saab tehniliste võtetega kõrvaldada või leevendada (Kriipsalu *et al.* 2016).

Prügilad võivad kujutada ohtu ka pinna- ning põhjaveele. Reostunud vee joomine võib tappa loomi ning inimestele põhjustada erinevaid vaegusi. Selle vältimiseks ehitatakse prügilatele veekindel vooder ja kogutakse ning puhastatakse tekkinud nõrgvesi. (Kriipsalu *et al.* 2016; U.S Geological... 2016)

### **1.3. Klaasjäätmete keskkonnaohtlikus**

Klaasi peetakse tavaliselt inertseks materjaliks, ta ei reageeri teiste ainetega kokku puutudes. Uuringutest on selgunud, et erinevate tegurite (pH, niiskus, orgaanilise aine sisaldus jäätmetes, ajafaktor) kokkulangemisel võib toksilisi metalle sisaldavast klaasist neid (plii, arseen, baarium, tsink, kaadmium, nikkel, koobalt) välja leostuda (Jani *et al.* 2018; Augustsson *et al.* 2016b). Need kogused pole küll suured, aga see näitab, et klaas ei pruugi olla nii inertne, nagu on alati arvatud.

Seda, et klaas ei pruugi olla täiesti inertne, näitavad ka erinevad uuringud. Kristallklaasi tootmisel kasutatakse erinevaid raskmetalle, mis võivad olla keskkonnaohtlikud. Klaasitööstustes ei visatud ära mitte ainult praakklaas, vaid ka metallisooli sisaldavaid pakendeid ja riknenud kemikaale. Seetõttu võib ka klaasitehaste ümber olev pinnas olla reostunud. Klaasijäätmete igapäevane kõrvaldamine tootmispaikades oli pikka aega halvasti reguleeritud – jäätmed ladestati tehaste läheduses sinna, kus parasjagu ruumi oli. (Jani *et al.* 2018) Näiteks Rootsis *Småland*'i piirkonnas uuritud 34-st kristallklaasitehase lähiümbruse pinnasest seitsmes leiti ohtlikes kogustes pliid (Pb), arseeni (As) ning kaadmiumi (Cd) (Augustsson *et al.* 2016a) ning USA's Pittsburgi klaasitehase ümbruse pinnasest suures koguses arseeni (USEPA 1998). Uurides klaasitehaste ümbruse pinnast on leitud, et mida suurem on metallide kontsentratsioon pinnases, seda vähem on pinnases mullaorganisme (Hagner *et al.* 2018). Kuigi tegu on uuringutega kristallklaasitööstustest pärineva reostuste kohta, peaks see andma märku, et ka pakendiklaasi käitlemisel peaks võib-olla olema ettevaatlikum.

Kõike ringlusesse minevat klaasi taaskasutusorganisatsioonid kokku koguda ei suuda. Prügilatesse jõuab klaas ka segaolmejäätmete hulgas. Seega on klaasitükid suure tõenäosusega segunenud muude jäätmetega, näiteks toidujäätmetega (moodustab 31,8 % olmejäätmete massist) või isegi ohtlike jäätmetega (moodustab 1,4 % olmejäätmete massist) (Eestis tekkinud... 2013). Ka segapakendikonteinerite kaudu kogutud klaas ei ole täiesti puhas. Kuigi kohustuslik on pakendeid enne konteinerisse viimist pesta, ei pruugita seda alati teha või ei tehta seda piisavalt. Samuti puutub klaas kokku teiste segapakendikonteinerite kaudu kogutavate jäätmetega – metalli- ja plastpakendiga ning joogikartongiga (Pakendijäätmete sorteerimise... 2018) ning nendes olevate toidu- ja kemikaalijäätmetega. Seega tuleks ladustatud klaaspakendeid vaadelda kui toidu- ja kemikaalijäätmetega määrdunud klaasihunnikuid.

USA-s 2009. aastal tehtud uuringust leiti, et pakendiklaasijäätmete leovesi on ohtlik põhjaveele ning seda tuleks enne keskkonda juhtimist puhastada. Klaasijäätmetest tulenev reostus ei pärine mitte klaasist, vaid klaasiga segunenud muudest jäätmetest. (Tsai *et al.* 2009) Seega ei pruugi olla probleemi allikaks mitte klaas, vaid muud jäätmed, mis on klaasiga segunenud.

## **2. MATERJAL JA METOODIKA**

### **2.1. Proovivõtukohad, proovide võtmine ja ettevalmistamine**

Klaasijäätmete proove võeti kolmest paigast: Rootsist Kalmari maakonnast Orreforsi küla vanast prügilast, Eestist Järvakandi Krynicki Glass Recycling OÜ ja Väätsa prügila klaasilaost. Eesmärk oli uurida klaasijäätmete omadusi ja saadud tulemuste põhjal hinnata ladustamise mõju keskkonnale. Lisaks eelnevale viidi läbi segaolmejäätmete sortimisuuring ühes Eesti jäätmekäitluskeskuses eesmärgiga välja selgitada kui suure osa moodustab klaas prügilasse jõudvatest segaolmejäätmetest.

#### **2.1.1. Orreforsi klaasitööstus Rootsis**

Rootsis on Småland'i piirkonnas kristallklaasi toodetud juba alates 18ndast sajandist. Selles regioonis on rohkem kui 25 klaasitehast ning nende kõigi ümbrus on aastasade jooksul reostunud erinevate raskmetallidega – hinnanguliselt on sealses pinnases 310 tonni arseeni, 19 tonni kaadmiumi ning 1 600 tonni pliid. Reostusoht seisnebki raskmetalle sisaldavas klaasis ning muudes klaasi tootmisega kaasnevates jäätmetes, millest raskmetallid aja jooksul põhja- ja pinnavette ning pinnasesse leostuvad. (Jani *et al.* 2014)

Orreforsi klaasitehas rajati 1898. aastal varasemalt samas kohas olnud metallitehase asemele. Algselt toodeti vabrikus aknaklaasi. Peale tehase omaniku vahetust 1913. aastal hakati aga tootma kristallklaasist vaase ja muid nõusid. Kristallesemete tootmisega tehas omale nime on teinudki. Orreforsi klaasivabrik suleti 2012. aasta lõpus majanduslike probleemide tõttu. (Glass from... 2018)

Proovid võeti Orreforsi küla vanast prügi ladestamiskohast rahvusvahelise kursuse „Glass mining in Practice 2017“ käigus 2017. aasta 10. aprillil. Enne proovivõtuaukude kaevamist tehti georadariga uuring, et leida kohad, kus maa sees kristallklaasi võiks leiduda. Proovid

võeti kahest kohast. Esimesest august võeti proovid neljalt sügavuselt: 0–50 cm, 50–100 cm, 100–150 cm ning 150–200 cm. Teine proovivõtuaук kaevati prügilas vahetusesse lähedusse puutumatusse pinnasesse. Proovid võeti sellest samal viisil neljalt sügavuselt, kuid segati kokku üheks võrdlusprooviks, et vähendada transporditavat kogust. Sügavamalt kui 200 cm proove ei võetud, sest proovivõtuaукudesse hakkas kogunema vesi. Iga proov kaalus umbkaudu 2,2 kg. Orreforsi prügilast võetud proovide tähistus on toodud tabelis 1.

**Tabel 1.** Orreforsi prügilast võetud proovide tähised ja kirjeldused

| <b>Tähis</b> | <b>Proovi kirjeldus</b>                        |
|--------------|--|
| TP3D1        | Klaasirikas pinnaseproov sügavuselt 0–50 cm    |
| TP3D2        | Klaasirikas pinnaseproov sügavuselt 50–100 cm  |
| TP3D3        | Klaasirikas pinnaseproov sügavuselt 100–150 cm |
| TP3D4        | Klaasirikas pinnaseproov sügavuselt 150–200 cm |
| TP5MIX       | Võrdlusproov 0–200 cm sügavuselt pinnasest     |

### 2.1.2. Krynicki Glass OÜ Järvakandis

Järvakandis töötav ettevõtte Krynicki Glass OÜ tegeleb klaasijäätmete sortimisega selle taaskasutamise eesmärgil. Firmas on 11 töölisi. Toore sortimiseks tuuakse kohale üle Baltikumi ning ka Soomest. Valge sortitud klaas läheb Järvakandi klaasitehasesse uuesti sulatamisele. Värviline klaas viiakse Inglismaale. Kasutusel on kuivsortimine, kus klaasi töötlemiseks vett ei vajata. Firmal on jäätmeluba 40 000 tonni pakendiklaasi ning 15 000 tonni lehtklaasi peensortimiseks. (Järvik 2018; Krynicki Recykling... 2018; Krynicki Glass... 2014)

Ettevõttest võeti proovid 17. novembril 2017. aastal. Proovid võeti tehasesse sortimisele suunatavatest klaasijäätmete hunnikust, sortitud valgest klaasist ning jääk-klaasist. Iga proovi mass oli ligikaudu 20 kg, mis jagati edasiste katsete jaoks kolmeks võrdseks osaks (tabel 2). Kõik hunnikud, kust proovid võeti, olid tehase ümber lahtise taeval all. Sortimisele suunatavad klaasijäätmed olid segunenud muude jäätmetega: bio-, metalli- (purgikaaned, pudelikorgid), keraamika-, plasti- ning paberi- ja papijäätmetega. Sortitud valge klaasi proov oli visuaalsel vaatlusel võõristest ja muud värvi klaasist täiesti puhas. Jääk-klaasi hunnik koosnes klaasipurust ja võõristest.

**Tabel 2.** Kryinicki Glass OÜ proovide tähised ja kirjeldused

| Tähis | Proovi kirjeldus                     |
|-------|--------------------------------------|
| J1–3  | Sortimisele suunatavad klaasijäätmed |
| J4–6  | Sorditud valge klaas                 |
| J7–9  | Jääk-klaas                           |

### 2.1.3. Jäätmekäitluskeskused Eestis

Eestis on kokku 5 tavajäätmete prügilat, millest ühes viidi läbi rahvusvahelise BOVA kursuse „Application of Circular Economy Principles in Landfills“ käigus olmejäätmete sortimisuuring. Prügila soovil ei avaldata selle nime ning kõiki uuringu tulemusi, vaid antud töö kontekstis asjakohased andmed. Antud prügila tegeleb (Kriipsalu *et al.* 2016):

- jäätmete ladestamisega;
- jäätmete veoga;
- jäätmete sortimise ja purustamisega;
- ohtlike jäätmete vastuvõtu;
- kompostimisega;
- prügilagaasi kogumise ja põletamisega.

Proove võeti kahes osas. Esmalt võeti kaheksa 5 kg massiga proovi mehaanilise sortimisliini jäägist (alla 60 mm suurune osa, mida sortimisliinil ei ole võimalik üksteisest eraldada). Seejärel võeti neli ca 100 kg raskust proovi sorditavatest segaolmejäätmetest (üle 60 mm osa).

Jäätmeproovid sorditi käsitsi 17 osaks: paber ja papp, kartong, mähkmed ja paberrätikud, plast, biojäätmed, metall, klaas, tekstiil, komposiitmaterjal, mööbel, mineraaljäätmed, elektroonika, meditsiinijäätmed, kumm, ohtlikud jäätmed peenfraktsioon (all 10 mm) ja mitteeristatav fraktsioon. Peale sortimist kaaluti kõik osad, mille tulemusena saadi fraktsioonide jaotus märgmassi järgi.

Väätsa jäätmekäitluskeskus asub Järvamaal Väätsa asula läheduses. 2000. aastal algselt pelgalt ühe hektari suuruse prügilana avatud jäätmekäitluskeskust on aastate jooksul laiendatud ning uusi teenuseid pakkuma hakatud.

Prügila põhilisteks tegevusaladeks on:

- taaskasutatavate jäätmete kogumine, sortimine, pakendamine ning ümbertöötamine;
- inertsete jäätmete vaheladustamine ja käitlemine;
- ohtlike jäätmete kogumine, sortimine ning pakendamine;
- Rapla- ja Järvamaa jäätmejaamade haldamine. (Kriipsalu *et al.* 2016; Väätša Prügila 2018)

Prügila teenindab umbes 100 000 inimest ning laiub peaaegu 30 hektarilisel maa-alal (Kriipsalu *et al.* 2016).

Väätša prügilast võeti 20 kg jagu võõristerohket segaklaasi 17. oktoobril 2017 aastal. Sealne võõristerohke segaklaasihunnik pärineb segapakendijäätmete sortimisest ning seetõttu sisaldas proov peale klaasi veel bio-, metalli-, keraamika-, plasti- ning paberi- ja papijäätmeid. Edasiste katsete jaoks jaotati proov (tähistatud V1–V3) kolmeks võrdeks osaks.

## 2.2. Laboritööd

### 2.2.1. Sõelanalüüs ja liigiti sortimine

Kõik proovid sõeluti sõelumismasinaga Retsch AS 200 basic kasutades 10 mm, 8 mm, 6,3 mm, 4 mm, 2 mm ja 0,5 mm avadega sõelu. Täpsemalt on proovide sõelumiseks kasutatud sõelade suurused toodud tabelis 3. Sõelanalüüsi tulemusena saadi proovide fraktsiooniline jaotus suuruse järgi.

**Tabel 3.** Sõelanalüüsiks kasutatud sõelad

| Proov                              | Sõela ava, mm |   |     |   |   |     |
|------------------------------------|---------------|---|-----|---|---|-----|
| TP3D1, TP3D2, TP3D3, TP3D4, TP5MIX | 10            | 8 | 6,3 | 4 |   |     |
| V1–3, J1–3, J4–6, J7–9             | 10            | 8 | 6,3 | 4 | 2 | 0,5 |

Väätša ja Järvakandi toorme (J1–3) proovide puhul teostati sõelanalüüs peale leostustesti, muidu poleks olnud võimalik võõriseid klaasist eraldada, sest klaas oli määrdunud ja



segunenud muude jäätmetega. Enne sõelumist eraldati klaasiosast võõrised: metall ja muu prügi (keraamika, plast, paber ja papp ning toidujäätmed).

### **2.2.2. Kuivaine ja orgaanilise aine sisalduse määramine**

Selleks, et määrata kuivaine (KA) sisaldus võeti proovist väike osa, mis kaaluti eelnevalt kuivatatud ja kaalutud mõõteanumatesse ning seejärel kuumutati kuivatusahjus (Memmert) 105 °C juures püsiva kaaluni (EVS-EN 14346:2007). Kuivainet ei määratud Järvakandi puhta klaasi proovidest (J4–6).

Orreforsi proovides ning Väätsa ja Järvakandi proovide 0,5–2 mm ja alla 0,5 mm fraktsioonides leiti ka orgaanilise aine sisaldus, mis määrati põletuskaona pärast kuivaine analüüsi samadest proovidest (EVS-EN 15169:2007). Proove põletati 550 °C juures 3 tundi muhvelahjus (Nabertherm). Orgaanilise aine sisaldus proovides arvutati protsendina kuivainest.

### **2.2.3. Leovete valmistamine ja analüüs**

Kõikidest võetud proovidest tehti leoveed. Orreforsist võetud proovidest tehti leovesi alla 4 mm suurusega osast. Leovee saamiseks võeti vedeliku ja tahke aine suhe 10 liitrit kg kohta (L/S 10 l/kg) vastavalt standardmeetodile EVS-EN 12457-2:2003. Järvakandi sorditud valge klaasi (J4–6) ja jääk-klaasi (J7–9) puhul tehti leoveed sortimata proovist kasutades vedeliku ja tahke aine vahekorda 1:1 (L/S 1 l/kg). Leoveed valmistati destilleeritud veega. Igast proovist tehti leovesi kolmes korduses. Segu loksutati 24 tundi loksutil (Heidolph REAX 20). Peale loksutamist lasti proovidel settida. Seejärel tsentrifuugiti (Eppendorf Centrifuge 5804) proovi pealt kogutud vett 20 minutit kiirusel 10 000 pööret minutis.

V1–3 ja J1–3 proovide puhul tehti leoveed kasutades kogu proovi. Leovesi tehti neil proovidel enne sõelumist. Leovee tegemisel kasutati vedeliku ja tahke aine vahekorda 1:1, ühe kilogrammi proovi kohta lisati üks liiter destilleeritud vett. Pärast 24 tunnist seismist

eraldati leovesi ja tsentrifuugiti (Eppendorf Centrifuge 5804) 20 minutit kiirusel 10 000 pööret minutis.

Kõikide proovide leovees määrati pH, elektrijuhtivus, vees lahustunud süsiniku ja lämmastiku ning metallide (Cd, Pb, Zn, Cr, Cu) sisaldus. Elektrijuhtivus (EC) määrati saadud leovetest kasutades konduktmeetrit pH/Cond 340i (WTW). ja pH seadmega SevenMulti (Metler Toledo). Kõikides leovetes määrati üldorgaanilise süsiniku (TC), anorgaanilise süsiniku (IC) ja orgaanilise süsiniku (TOC) sisaldus analüsaatoriga Shimadzu TOC-Vcph ning üldlämmastiku (TN) sisaldus analüsaatoriga Shimadzu TNM-1. Metallide sisalduse määramiseks kasutati aatomabsorptsioonspektrofotomeetrit Shimadzu AA-6800. Pb, Cd ja Cr sisaldus määrati grafiitahju meetodil, Zn ja Cu sisaldus leekmeetodil.

Igast leoveest tehti viies korduses salati (*Lactuca sativa*) seemnete idanevuse test. Selleks asetati Petri tassile filterpaber, mille peale jaotati ühtlaselt 20 seemet. Seejärel mõõdeti igasse Petri tassi 5 ml leovett ning tass kaeti kaanega. Lisaks teostati viies korduses kontrollproov destilleeritud veega. Seemnetega tasse hoiti 3 ööpäeva 25°C juures pimedas kliimakapis (Sanyo Versatile Environmental Chamber). Kolmandal päeval loendati igal tassil idanenud seemnete arv ning mõõdeti idanenud seemnete idujuurte pikkused. Mõõtmistulemustest arvutati idanevuse määr GR (valem 1) ja idanevuse indeks GL (valem 2):

$$GR = \frac{G_x}{G_0} * 100 \quad (1)$$

kus  $G_x$  tähistab seemnete idanevust proovis ning  $G_0$  seemnete idanevust kontrollproovis.

$$GL = \frac{G_x}{G_0} * \frac{L_x}{L_0} * 100 \quad (2)$$

kus  $G_x$  tähistab seemnete idanevust proovis,  $G_0$  seemnete idanevust kontrollproovis,  $L_x$  keskmist idujuure pikkust proovis ja  $L_0$  keskmist idujuurte pikkust kontrollproovis.

### **2.3. Andmetöötlus**

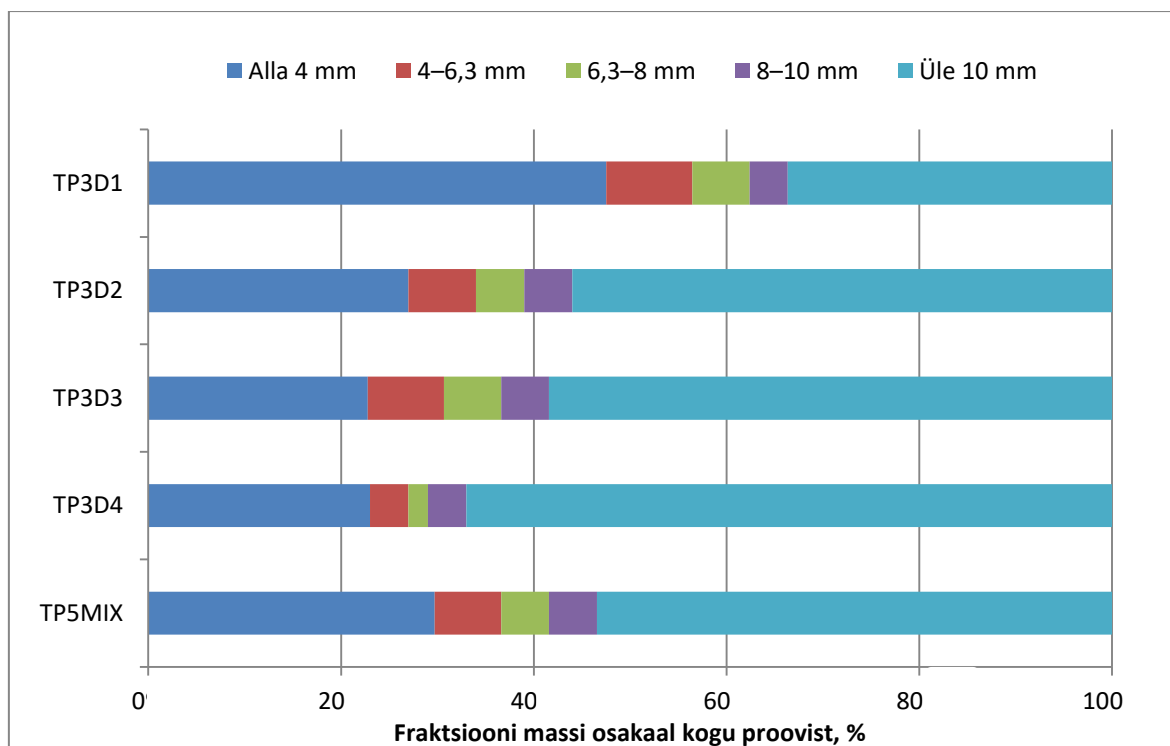
Kõik katsete käigus saadud andmed analüüsiti programmis Microsoft Excel. Arvutati sõelanalüüsi tulemuste protsendiline jaotus, leovete analüüside tulemuste keskmised väärtused ning standardhälbed, fütotoksilisuse määramiseks idanevuse määr ja indeks ning arvutuste põhjal koostati joonised ja tabelid.

### 3. TULEMUSED JA ARUTELU

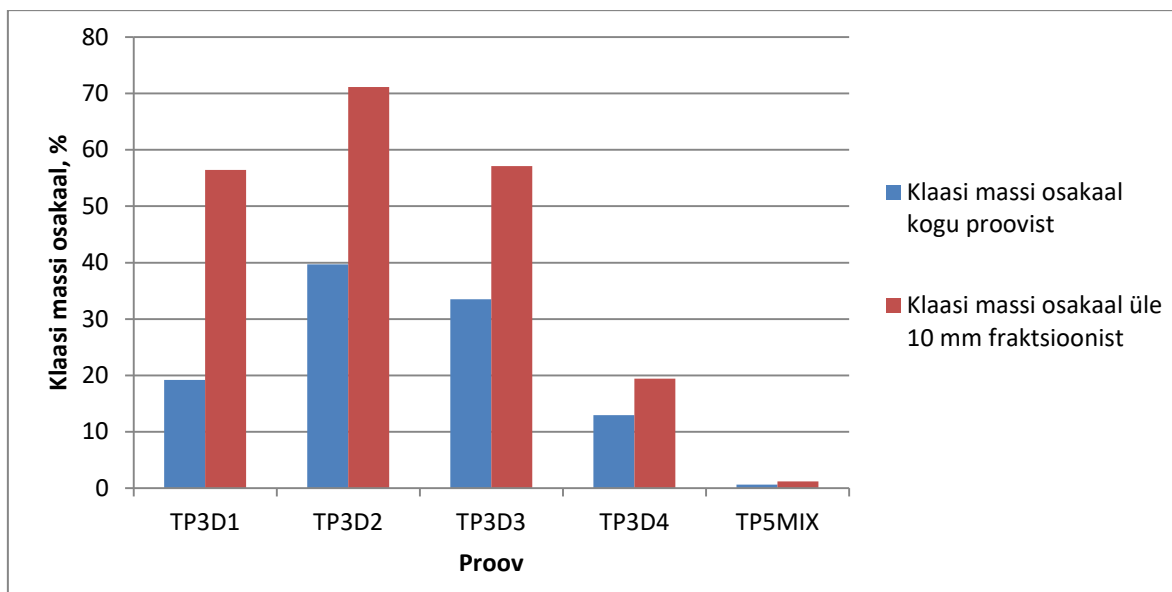
#### 3.1. Orreforsi proovide analüüside tulemused

##### 3.1.1. Sõelanalüüs, kuivaine ja orgaanilise aine sisaldus

Sõelanalüüsi tulemusena saadud fraktsioonide jaotus on näidatud joonisel 5, klaasi massi osakaal üle 10 mm fraktsioonist ja kogu proovist joonisel 6. Lisa 1 tabelis 14 on esitatud sõelanalüüsi arvulised tulemused ning joonisel 10 sõelgraafik.



**Joonis 5.** Orreforsi proovide sõelanalüüsi tulemused.



**Joonis 6.** Orreforsi proovide klaasi massi osakaal kogu proovist ja üle 10 mm suurusest fraktsioonist.

Jooniselt 5 on näha, et suurima osa proovide massist moodustab üle 10mm fraktsioon. Koos 4 mm fraktsiooniga moodustavad need enamiku (rohkem kui 80 %) kõikide proovide massist. Teistest eristub pealmine (0–50 cm sügavuselt võetud) proov TP3D1, milles üle 10 mm suuruse fraktsiooni osakaal kogu proovist on 34 %, samas teistes proovides on see üle 55 % kogu proovist. Klaasi leiti ainult üle 10 mm fraktsioonis ning see moodustab TP3 kolme pealmise kihi (D1, D2, D3) sellest fraktsioonist rohkem kui poole. Klaasi võib leida ka alla 4 mm fraktsioonis, aga silmaga seda eristada võimalik ei ole. Võrdlusproov TP5MIX sisaldas väga vähe klaasi (0,63 % kogu proovi massist). Proovivõtuaugu TP3 nelja proovi keskmine klaasisisaldus on 26,3 %.

Orreforsi prügilast võetud proovidest määratud kuivaine ja orgaanilise aine keskmised sisaldused on näha tabelis 4.

**Tabel 4.** Kuivaine ja orgaanilise aine sisaldused ( $\pm$ standardhälve) Orreforsi proovides

| Proov  | Kuivaine, %    | Orgaaniline aine, % |
|--------|----------------|---------------------|
| TP3D1  | 89,6 $\pm$ 0,1 | 2,6 $\pm$ 0,1       |
| TP3D2  | 90,9 $\pm$ 0,5 | 1,8 $\pm$ 0,1       |
| TP3D3  | 80,1 $\pm$ 0,8 | 3,9 $\pm$ 0,1       |
| TP3D4  | 70,4 $\pm$ 0,5 | 4,8 $\pm$ 0,1       |
| TP5MIX | 86,0 $\pm$ 0,6 | 2,0 $\pm$ 0,2       |

Proovivõtuaugust (TP3) võetud proovide kuivaine sisaldus muutub sügavamal väiksemaks, järeltult on sügavamal kihtides rohkem niiskust. Võrdlusproovi TP5MIX kuivainesisaldus (86,0%) on sarnane teiste proovide kuivaine keskmise sisaldusega, mis on 82,7 %. Sügavamal kui 200 cm hakkas proovivõtuaukudesse vesi kogunema, st põhjaveekiht on suhteliselt kõrge. Järelikult leostab põhjavesi regulaarselt alumisi pinnasekihte ning metallid võivad pääseda keskkonnas kergesti liikuma.

Orgaanilise aine sisaldus on kõikides proovides sarnane, jäädes vahemikku 1,8–4,8 %.

### 3.1.2. Leovesi

Proovide peenemast fraktsioonist (alla 4 mm) tehtud leovete (LS 10 l/kg) pH ja elektrijuhtivuse analüüside keskmised tulemused on näha tabelis 5.

**Tabel 5.** pH ja elektrijuhtivus ( $\pm$ standardhälve) Orreforsi proovide leovetes

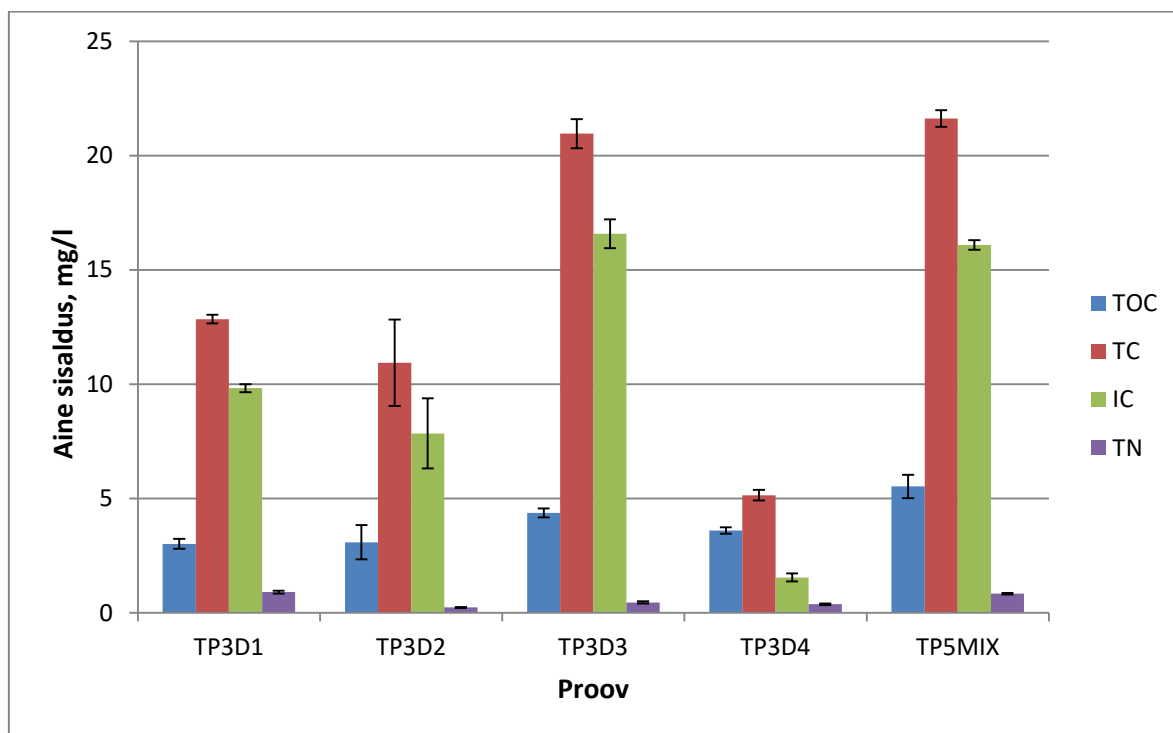
| Proov  | pH              | Elektrijuhtivus, $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
|--------|-----------------|--|
| TP3D1  | 7,65 $\pm$ 0,08 | 208 $\pm$ 10                             |
| TP3D2  | 7,40 $\pm$ 0,07 | 201 $\pm$ 9                              |
| TP3D3  | 7,17 $\pm$ 0,13 | 203 $\pm$ 6                              |
| TP3D4  | 5,93 $\pm$ 0,02 | 200 $\pm$ 5                              |
| TP5MIX | 8,17 $\pm$ 0,01 | 166 $\pm$ 2                              |

Proovivõtuaugust TP3 võetud proovide leovete pH muutub sügavamal happelisemaks. Võrdlusproov (TP5MIX) on võrreldes teistega aluselisem. Happelisemas keskkonnas on raskmetallid liikuvamad (Certini, Scalenghe 2006). Seega võivad sügavamates kihtides metallid olla keskkonnas liikuvamad kui ülalpool olevad. Veekokku või pinnasesse juhitava heit- ja sademevee pH jääma peab jääma vahemikku 6–9 (Reovee puhastamise... 2012, Lisa 1). Proovi TP3D4 leovee pH on veidi madalam kui on lubatud, teiste proovide leovete pH-d jäävad lubatu piiridesse.

Mida puhtam on vesi, seda väiksem on tema elektrijuhtivus, mida rohkem on vette aineid leostunud, seda suurem on elektrijuhtivus (Uri, Kulm 2009). Erinevalt sügavuselt võetud proovide (TP3) leovete elektrijuhtivused on sarnased, jäädes 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  lähedale.

Võrdlusproovi elektrijuhtivus on teiste proovide omast väiksem, millest võib järeldada, et klaasist ja sellega koos ladestatud muudest jäätmetest on pinnasesse erinevaid aineid leostunud.

Leovete lämmastiku ja süsiniku sisaldused on näha joonisel 7.



**Joonis 7.** Orgaanilise süsiniku (TOC), üldorgaanilise süsiniku (TC), anorgaanilise süsiniku (IC) ja üldlämmastiku (TN) sisaldused koos standardveaga Orreforsi proovide leovetes.

Proovi TP3D4 (150–200 cm) korral on vees lahustuva süsiniku ja lämmastiku sisaldused võrreldes teiste proovidega väiksemad, kuigi orgaanilise aine sisaldus selles proovis oli suurim (tabel 5).

Suublasse juhitas heit- ja sademevees ei tohi üldlämmastiku sisaldus ületada 75 mg/l (Reovee puhastamise... 2012, Lisa 1). Orgaanilist süsinikku ei tohi tavajäätmeteprügilasse ladestavatest jäätmetest leostuda rohkem kui 800 mg/kg (Prügilasse jäätmete... 2010). Orreforsi proovide leovetes on üldlämmastiku sisaldus nimetatud piirväärtusest väiksem. Orgaanilist süsinikku leostub kilogrammi kohta samuti vähem (T3 proovidest keskmiselt 35 mg/kg ja TP5 proovist 55 mg/kg) kui on lubatud.

Leovete metallide analüüsi keskmised kontsentratsioonid on näha tabelis 6. Selleks, et paremini metallide sisalduse suurusest aru saada, võib neid võrrelda veekogusse või pinnasesse juhitava heit- ja sademevee ohtlike ainete sisalduse piirväärtustega (Reovee puhastamise... 2012, Lisa 3). Laboris tehtud leovete metallide sisaldused ei ole küll otseselt võrreldavad, sest need tulemused on saadud laborikatsetel, mitte ei pärine proovivõtukohest pärinevast nõrgveest, aga on vajalikud, et saada aimu metallide sisalduse suurusjärgudest.

**Tabel 6.** Metallide sisaldus ( $\pm$ standardhälve) Orreforsi proovide leovetes ning veekogusse või pinnasesse juhitava heit- ja sademevee ohtlike ainete sisalduse piirväärtused (Reovee puhastamise... 2012, Lisa 3)

| Proov              | Pb, $\mu\text{g/l}$ | Cd, $\mu\text{g/l}$ | Cr, $\mu\text{g/l}$ | Zn, $\mu\text{g/l}$ | Cu, $\mu\text{g/l}$ |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| TP3D1              | 407 $\pm$ 99        | 1,5 $\pm$ 0,2       | 1,1 $\pm$ 0,1       | <10                 | <100                |
| TP3D2              | 869 $\pm$ 449       | 14 $\pm$ 6          | <1                  | 53 $\pm$ 21         | <100                |
| TP3D3              | 310 $\pm$ 88        | 12 $\pm$ 2          | 1,2 $\pm$ 0,1       | 45 $\pm$ 16         | <100                |
| TP3D4              | 138 $\pm$ 3         | 37 $\pm$ 1          | <1                  | 481 $\pm$ 16        | <100                |
| TP5MIX             | 17 $\pm$ 9          | 0,07 $\pm$ 0,02     | 1,4 $\pm$ 0,3       | <10                 | <100                |
| <b>Piirväärtus</b> | 14                  | 5                   | 50                  | 50                  | 15                  |

Proovivõtuaugu TP3 proovide plii sisaldus on suurim 50–100 cm (TP3D2) sügavuselt võetud proovi leovees. Kaadmiumi ja tsingi sisaldused on suurimad sügavamalt (150–200 cm) võetud proovi leovees. Ilmselt on need aja jooksul veega sügavamale liikunud. Kroomi sisaldused on kõigis proovides teiste metallide sisaldustega võrreldes väga väikesed. Vase tulemusi pole võimalik võrrelda, sest määramiseks kasutatud meetod polnud piisav, et vase sisaldust leovetes täpsemalt määrata. Võrdlusproovi (TP5MIX) leovees on kõikide metallide sisaldus teiste proovidega võrreldes oluliselt väiksem.

Plii sisaldus on kõikides TP3 proovide leovetes mitmeid kordi üle piirväärtuse (tabel 6) ning isegi võrdlusproovis TP5MIX veidi üle piirväärtuse. Kaadmiumi ja tsingi sisaldused ületavad piirväärtust sügavamalt võetud proovide (TP3D2, -D3 ja -D4) leovetes. Kroomi sisaldused on väiksemad piirväärtusest ning vase tulemusi pole võimalik võrrelda. Seega leostub veega Orreforsi prügilast suurtes kogustes metalle, mis tuleks koguda, mitte loodusesse lasta. Samas on väga raske seda teha, sest prügilal puudub vett läbilaskmatu põhi ning heit- ja sademevee kogumissüsteem. Ilmselt ei annaks ka prügila katmine vett



läbilaskmatu kihiga head tulemust, sest põhjavesi on kõrgel ning metallid võivad ikkagi keskkonda leostuda.

2016. aastal uurisid Augustsson jt (2016b) Rootsis Pukebergi klaasitööstuse ümber olevat pinnast. Proovid võeti kahest kohast (peamiselt kristallklaasist koosnev ja märkimisväärsel hulgal kristallklaasi sisaldav proov) kuni 40 cm sügavuselt ning neist sõeluti välja alla 2 mm fraktsioon, millega tehti leostustestid (L/S 10 l/kg). Peamiselt kristallklaasist koosneva proovi leovesi sisaldas 91 µg/l pliid, 4 µg/l kaadmiumi, 240 µg/l tsinki. Märkimisväärsel hulgal kristallklaasi sisaldusega proovi leovesi sisaldas 34 µg/l pliid, 2,8 µg/l kaadmiumi ja 240 µg/l tsinki. Sarnaselt sügavuselt on võetud proov TP3D1 (0–50 cm) Orreforsi prügilast. Võrreldes Pukebergi proovidega on TP3D1 proovi leovees plii sisaldus mitmeid kordi suurem, teiste metallide sisaldus on väiksem. Samuti on plii ja kaadmiumi sisaldused sügavamalt võetud proovide leovetes suuremad kui Pukebergis ning proovi TP3D4 leovees on tsingi sisaldus üle kahe korra suurem kui Pukebergi proovide leovetes. Võrdlusproovi (TP5MIX) leovee metallide sisaldused on Pukebergiga võrreldes väiksemad.

Pukebergi uuringu ja käesoleva magistritöö andmete põhjal võib väita, et pinnasest, mis on küllastunud kristallklaasijäätmetega, võib metalle välja leostuda. Metallide kontsentratsioonid on suuremad kui veekogusse või pinnasesse juhitava heit- ja sademevee ohtlike ainete sisalduse piirväärtused (Reovee puhastamise... 2012, Lisa 3). Tuleks teha lisauuringuid, et kindlaks teha kui palju metalle sealses pinnases leidub ning kui kaugele reostus levib. Saadud tulemusi saaks võrrelda ohtlike ainete sisalduse piirväärtustega pinnases (Ohtlike ainete... 2010, Lisa).

Arvutades kui palju leostub metalle 1 kilogrammist proovist (tabel 7), saab tulemusi võrrelda tavajäätmeteprügilasse ladestatavatele jäätmetele kehtestatud piirväärtustega (Prügilasse jäätmete... 2010).

**Tabel 7.** Metallide leostumine Orreforsi proovidest ning tavajäätmeteprügilasse ladestavatele jäätmetele kehtestatud piirväärtused (Prügilasse jäätmete... 2010)

| Proov              | Pb, µg/kg | Cd, µg/kg | Cr, µg/kg | Zn, µg/kg | Cu, µg/kg |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| TP3D1              | 4 072     | 15        | 11        | <100      | <1 000    |
| TP3D2              | 8 694     | 141       | <10       | 528       | <1 000    |
| TP3D3              | 3 101     | 122       | 12        | 447       | <1 000    |
| TP3D4              | 1 375     | 373       | <10       | 4 812     | <1 000    |
| TP5MIX             | 170,5     | 0,7       | 13,7      | <100      | <1 000    |
| <b>Piirväärtus</b> | 10 000    | 1000      | 10 000    | 50 000    | 50 000    |

Kõik tulemused jäävad tavajäätmete prügilasse ladestatavate jäätmete piirväärtustele alla, seega pole Orreforsi proovid nii ohtlikud, et neid ei tohiks ladestada tavajäätmete prügilasse. Samas on Orreforsi ja sellele sarnaseid kristallklaasi jäätmetega reostunud kohti mitmeid ning kokku on reostunud pinnast tuhandeid tonne, mille ladestamine ei pruugi tehniliselt olla võimalik.

Teise Rootsisis tehtud uuringu käigus analüüsisid Hagner jt (2018) samuti kui palju metalle ühest kilogrammist proovist välja leostub. Sealse uuringu käigus võeti proove viie klaasitootmistehase ümbruse pinnastest. Kõige rohkem leostus ühest kilogrammist proovist pliid  $1\,006 \pm 326$  µg, kaadmiumi  $111 \pm 91$  µg ja tsinki  $651 \pm 107$  µg. Võrreldes neid käesoleva magistritöö tulemustega (tabel 7), on näha, et Hagneri uuritud proovidest leostus pliid, kaadmiumi ja tsinki välja väga palju vähem. Erinevus võib tuleneda sellest, et Hagneri uuringu puhul võeti proovid klaasitehaste ümbrusest, kus jäätmete sattumine pinnasesse võis toimuda juhuslikult, aga antud magistritöö proovid võeti vanast prügilast, kuhu toodi kõik klaasijäätmed kokku.

Kõikide leovetega tehti fütotoksilisuse ehk seemnete idanevuse test, mille tulemused on näha tabelis 8.

**Tabel 8.** Orreforsi proovide leovete fütotoksilisuse testi tulemused ( $\pm$ standardhälve)

| Proov  | Idanevuse määr | Idanevuse indeks |
|--------|----------------|------------------|
| TP3D1  | 99 $\pm$ 6     | 92 $\pm$ 4       |
| TP3D2  | 94 $\pm$ 4     | 87 $\pm$ 10      |
| TP3D3  | 89 $\pm$ 8     | 80 $\pm$ 15      |
| TP3D4  | 93 $\pm$ 5     | 82 $\pm$ 8       |
| TP5MIX | 95 $\pm$ 4     | 83 $\pm$ 11      |

Tulemused tabelis 8 iseloomustavad seemnete idanevuse protsenti ja idanevuse indekseid leovetes võrreldes kontrollprooviks võetud destilleeritud veega. Tabelist 8 on näha, et seemnete idanevus proovides oli väiksem kui kontrollproovis. Uuritud leovetes seemnete idanevus oluliselt ei erine, idanevuse indeks on väiksem võrdlusproovi (TP5MIX) korral. Kuna võrdlusproovi tulemused on sarnased teiste proovidega, ei saa kindlalt väita, et klaasijäätmetest leostunud ained seemnete idanemisele halvasti mõjunud oleks. See ei tähenda, et leoveed ei ole ohtlikud mulla- ja veeorganismidele. Sarnase järelduseni jõuti Rootsis tehtud uuringute käigus, kus klaasitehaste ümbruse pinnaseproovides, mis sisaldasid klaasi, kasvama pandud taimede juurte ja võrsete kasv ei erinenud võrdlusproovides kasvanud taimede omast, aga klaasi sisaldanud proovides elas vähem mullaorganisme kui võrdlusproovides (Hagner *et al.* 2018).

### **3.2. Segaolmejäätmete sortimisuuring**

Segaolmejäätmed jagatakse jäätmekäitluskeskuses sortimise käigus kaheks: alla 60 mm ja üle 60 mm fraktsiooniks. Mõlemat fraktsiooni sorditi käsitsi. Selgus, et alla 60 mm fraktsioonis leidub klaasi  $4,8 \pm 1,8$  % ning üle 60 mm fraktsioonis ainult  $0,1 \pm 0,1$  %. Ettevõttes kasutatav sortimistehnoloogia eeldab, et kõik jäätmed (sh) klaas esmalt purustatakse ning just sel põhjusel jääb valdav osa klaasi peenfraktsiooni (alla 60 mm) hulka. Selline klaas on määrdunud teiste jäätmetega ning sellest võib potentsiaalselt välja leostuda erinevaid aineid. Isegi kui klaasist midagi välja leostub, kogutakse prügilas nõrgvesi kokku ja puhastatakse. Seega prügilas klaasi ladestamine ohtu ei kujuta. Samas ei ole mõttekas klaasi ladestada, sest sellest saaks teha uusi tooteid ning ka jäätmekäitlushierarhia järgi tuleb jäätmete ladestamist vältida (Keskkonnaministeerium 2017a). Klaas tuleks teistest jäätmetest välja sortida.

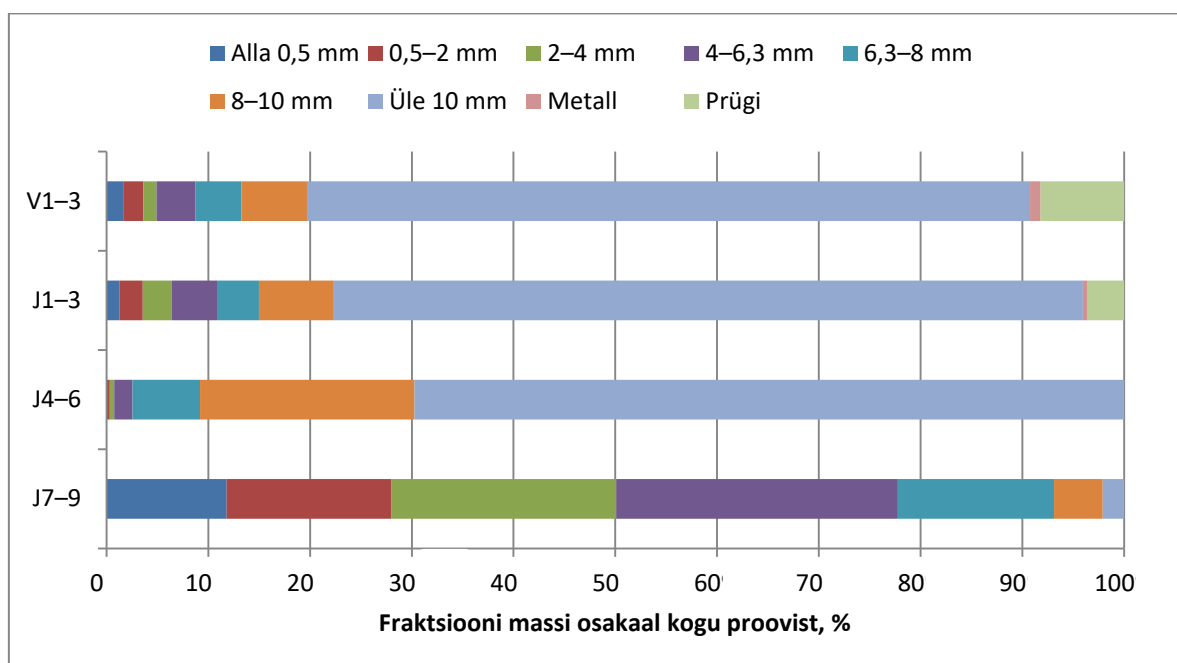
Klaas moodustab kogu vaatlusalusesse prügilasse jõudvatest segaolmejäätmetest  $2,64 \pm 1$  %. Võrreldes 2013. aastal üle Eesti läbi viidud segaolmejäätmete koostise uuringuga on klaasi osakaal olmejäätmetes vähenenud, mille järgi klaasi osakaal jäi vahemikku 4,1–6 % (Eestis tekkinud... 2013). Sellest saab järeldada, et klaasi kogutakse liigiti aina rohkem ning olmejäätmete hulgas klaasi osakaal väheneb. Seega ladestatakse ka prügilatesse klaasi vähem. Sellegipoolest jõuab prügilasse klaasi segaolmejäätmete hulgas. Kui prügilas

sortimistehnoloogiat muuta, et klaas ei puruneks ja seda oleks võimalik kätte saada, siis klaasihunnikutest läbi valguv sademevesi tuleks kokku koguda ja puhastada, või tuleb hunnikud ladustada katuse või katte alla. Igal juhul tuleks soovitada elanike seas teavitustöö tegemist, et klaasi ei pandaks segaolmejäätmete hulka, vaid pakendikonteinerisse ja see ei jõuakski prügilasse.

### 3.3. Väätsa ja Järvakandi proovide analüüside tulemused

#### 3.3.1. Sõelanalüüs ja liigiti sortimine, kuivaine ja orgaanilise aine sisaldus

Väätsa prügilast ja Järvakandist osatühingust Krynicky Glass võetud proovide sõelanalüüsi ja liigiti sortimise tulemusena saadud fraktsioonide keskmine jaotus on näidatud joonisel 8, lisa 2 tabelis 15 on sõelanalüüsi arvulised tulemused ning joonisel 11 sõelgraafik. Kuivaine ja orgaanilise aine sisaldused on näha tabelis 9.



**Joonis 8.** Väätsa ja Järvakandi proovide sõelanalüüsi ja liigiti sortimise tulemused.

**Tabel 9.** Kuivaine ja orgaanilise aine sisaldus Väätsa ja Järvakandi proovides ( $\pm$ standardhälve)

| Proov | Kuivaine, %    | Orgaaniline aine, % |                  |
|-------|----------------|---------------------|------------------|
|       | Kogu proov     | 0,5–2 mm            | Alla 0,5 mm      |
| V1–3  | 90,8 $\pm$ 1,9 | 8,82 $\pm$ 1,3      | 23,34 $\pm$ 0,25 |
| J1–3  | 90,8 $\pm$ 0,3 | 3,41 $\pm$ 0,74     | 13,42 $\pm$ 0,97 |
| J7–9  | 92,6 $\pm$ 0,1 | –                   | 2,72 $\pm$ 0,03  |

Märkus „–“ – proovist ei määratud orgaanilise aine sisaldust

Üksteisele sarnased on Väätsa (V1–3) ja Järvakandi sortimisele minevad klaasijäätmed (J1–3). Nende puhul moodustab rohkem kui 70 % proovist üle 10 mm fraktsioon. Väätsa ja Järvakandi klaasijäätmete proovide kuivainesisaldused on samuti sarnased (tabel 9). Väätsa proovis on orgaanilist ainet rohkem kui Järvakandi klaasijäätmete proovis. Ülejäänud osa mõlemas proovis moodustab klaasipuru rikas mineraalne. Mõlemas proovis leidub metalli ning prügi (bio-, plasti- ning paberi- ja papijäätmed). Seega ei ole vaheladustatav klaas puhas, vaid on segunenud muude jäätmetega. Sorditud valge klaasi proov (J4–6) koosneb peamiselt üle 10 mm fraktsioonist ning 0,5–2 mm ja alla 0,5 mm fraktsioonide osakaal jääb alla 0,5 %. Teistest erinev on jääk-klaasi proov (J7–9), mille moodustavad suhteliselt võrdselt jaotunud peenemad fraktsioonid (alla 6,3 mm). Järvakandi jääk-klaasi proovi kuivaine sisaldus on Väätsa ja Järvakandi sortimisele minevatest klaasijäätmetest suurem (92,6 $\pm$ 0,1 %). Alla 0,5 mm fraktsioon koosneb peamiselt liivast, mis on segunenud klaasipuruga. Sellest võib järeldada, et sortimistehas ei suuda peenemaid fraktsioone sortimise käigus eraldada. Järvakandi sorditud klaasi proovist kuivaine sisaldust ei määratud, sest see proov koosnes ainult klaasist.

### 3.3.2. Leovesi

Klaasijäätmetest tehtud leovete (LS 1 l/kg) pH ja elektrijuhtivuse tulemused on toodud tabelis 10.

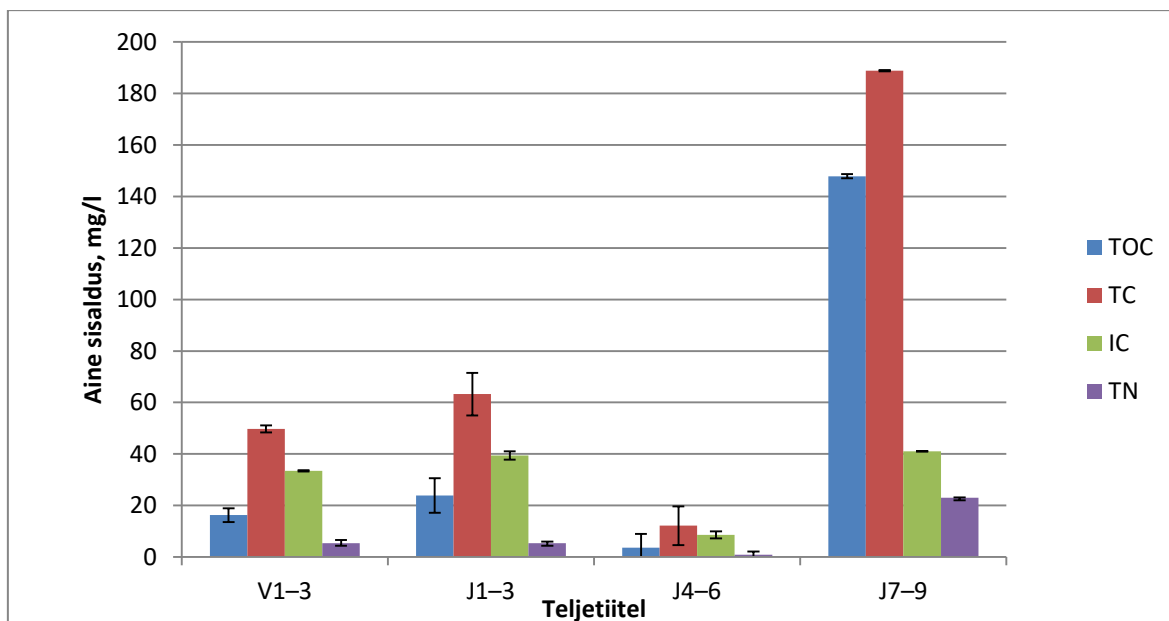
**Tabel 10.** Väätsa ja Järvakandi proovide leovete pH ja elektrijuhtivus ( $\pm$ standardhälve)

| Proov | pH              | Elektrijuhtivus, $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
|-------|-----------------|--|
| V1–3  | 6,92 $\pm$ 0,08 | 813 $\pm$ 109                            |
| J1–3  | 7,28 $\pm$ 0,24 | 824 $\pm$ 28                             |
| J4–6  | 9,60 $\pm$ 0,38 | 123 $\pm$ 2                              |
| J7–9  | 9,51 $\pm$ 0,04 | 838 $\pm$ 4                              |

Väätsa (V1–3) ja Järvakandi sortimisele minevate klaasjäätmete (J1–3) proovide leovete pH on sarnane ning ligikaudu neutraalne. Järvakandi valge klaasi (J4–6) ja jääk-klaasi (J7–9) proovide leoveed on aluselised. Heitvee reostusnäitajate piirväärtuste järgi peab veekokku või pinnasesse juhitava heitvee pH jääma vahemikku 6–9 (Reovee puhastamise... 2012, Lisa 1). Seega võib Järvakandi sorditud klaasist ja jääk-klaasist läbi imbuv vesi olla liialt kõrge pH-ga, et seda otse keskkonda juhtida tohiks. Firmal tuleks ära hoida nõrgvee teke (ladustada klaasihunnikud katusel alla või need katta) või koguda ladustusosalal tekkiv vesi.

Teistest erineb sorditud valge klaasi proovi leovee elektrijuhtivus, mis on teistest kordades väiksem. Suurema elektrijuhtivuse korral saab arvata, et vette on leostunud erinevaid aineid (Uri, Kulm 2009). Seega lahustub vette rohkem aineid Väätsa ja Järvakandi klaasijäätmete ning Järvakandi jääk-klaasi proovidest. Just nendes proovides leidis peale klaasi ka võõrseid, millest vette aineid leostuda võis.

Leovete süsiniku ja lämmastiku analüüside keskmised tulemused on näha joonisel 9.



**Joonis 9.** Orgaanilise süsiniku (TOC), üldorgaanilise süsiniku (TC), anorgaanilise süsiniku (IC) ja üldlämmastiku (TN) sisaldused koos standardveaga Väätsa ja Järvakandi proovide leovetes.

Üksteisele on sarnased Väätsa (V1–3) ja Järvakandi sortimisele mineva klaasi (J1–3) leovete süsiniku ja lämmastiku sisaldused. Järvakandi sortitud valge klaasi (J4–6) leovees on süsiniku ja lämmastiku sisaldused teistega võrreldes oluliselt väiksemad ja Järvakandi jääk-klaasi (J7–9) leovetes mitu korda suuremad.

Suublasse juhitas heit- ja sademevees ei tohi üldlämmastiku sisaldus ületada 75 mg/l (Reovee puhastamise... 2012, Lisa 1) ning tavajäätmeteprügilasse ladestavatest jäätmetest ei tohi kilogrammi kohta leostuda rohkem kui 380 mg orgaanilist süsinikku (Prügilasse jäätmete... 2010). Väätsa ja Järvakandi proovide leovete üldlämmastiku sisaldus jääb piirväärtusele alla ning orgaanilist süsinikku leostub kilogrammi kohta välja lubatust vähem.

Väätsa ja Järvakandi leovete metallide keskmised kontsentratsioonid on näha tabelis 11, kus võrdluseks on esitatud ka veekogusse või pinnasesse juhitava heit- ja sademevee ohtlike ainete sisalduse piirväärtused (Reovee puhastamise... 2012, Lisa 3).

**Tabel 11.** Metallide sisaldus ( $\pm$ standardhälve) Väätsa ja Järvakandi proovide leovetes ning veekogusse või pinnasesse juhitava heit- ja sademevee ohtlike ainete sisalduse piirväärtused (Reovee puhastamise... 2012, Lisa 3)

| Proov              | Pb, $\mu\text{g/l}$ | Cd, $\mu\text{g/l}$ | Cr, $\mu\text{g/l}$ | Zn, $\mu\text{g/l}$ | Cu, $\mu\text{g/l}$ |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| V1–3               | 9,4 $\pm$ 2,2       | 0,21 $\pm$ 0,04     | 2,8 $\pm$ 0,4       | 131 $\pm$ 39        | 106 $\pm$ 12        |
| J1–3               | 10 $\pm$ 2          | 0,10 $\pm$ 0,03     | 24 $\pm$ 2          | 40 $\pm$ 12         | <100                |
| J4–6               | 15 $\pm$ 6          | 0,52 $\pm$ 0,25     | 3,8 $\pm$ 0,8       | <10                 | <100                |
| J7–9               | 349 $\pm$ 22        | 9,5 $\pm$ 0,2       | 49 $\pm$ 3          | 721 $\pm$ 53        | 601 $\pm$ 50        |
| <b>Piirväärtus</b> | 14                  | 5                   | 50                  | 50                  | 15                  |

Kõikide analüüsitud metallide sisaldus on suurim Järvakandi jääk-klaasi (J7–9) leovee proovis. Teistest eristub veel Väätsa (V1–3) proovi leovesi, kus tsingi ja vase sisaldused leovees on teistest suuremad.

Plii sisaldused on kõigis proovides peale Järvakandi jääk-klaasi (J7–9) lubatud piirväärtustest väiksemad. Jääk-klaasi proovis on plii sisaldus mitmeid kordi suurem kui on lubatud. Samuti on tsingi ja vase sisaldused jääk-klaasi proovis lubatud piirväärtustest mitmeid kordi suuremad. Metallide sisalduse analüüsist saab järeldada, et sorditud valges klaasist (proov J4–6) leostub metalle vähe. Aga nagu sõelanalüüsi ja liigiti sortimise tulemustest näha, ei ole tarbimisjärgne klaas puhas, vaid on muude jäätmetega segunenud. Sel juhul võib klaasijäätmetest metalle (tsink, vask) välja leostuda. Ilmselt pärinevad leostuvad ained muudest jäätmetest, millega klaas segunenud on. Seega tuleks edaspidi uurida klaasijäätmete hulgas olevaid muid jäätmeid, et kindlaks teha, kust pärinevad väljaleostuvad metallid. Klaasijäätmete taaskasutamiseks sortimisel järele jäävast peenfraktsioonilisest jääk-klaasist võib oluliselt rohkem metalle välja leostuda kui sortimata klaasijäätmetest. Seega tuleks tähelepanu pöörata heit- ja sademevee pinnasesse juhtimisel kohtades, kus ladustatakse klaasijäätmete sortimisest järgi jäävat peenfraktsioonilist jääk-klaasi. Et kindel olla jäätmete ohutuses, tuleks proove võtta jääk-klaasiga (J7–9) kokkupuutuvast sademeveest. Juhul kui vesi sisaldab metalle rohkem kui lubatud, tuleb see kokku koguda ning suunata kanalisatsioonisüsteemi või firmal ise kohapeal puhastada. Lihtsam viis võimaliku reostuse vältimiseks on jääk-klaasi ladustamine kohas või viisil, kus vihm sellele peale ei saa sadada (nt katuse või katte all). Hetkel ei ole sortimistehasel jääk-klaasile otstarvet, vaid see ladustatakse tehase territooriumile. Firmal tuleks leida jääk-klaasile kasutusvõimalus, näiteks toota betooni, kuhu seda lisada saaks ning sellega likvideerida potentsiaalne reostusallikas.



Kui leovetes oleva metalli sisaldus ümber arvutada mõõdetava aine leostuva osa koguhulgaks (tabel 12), saab tulemusi võrrelda tavajäätmeteprügilasse ladestavatele jäätmetele kehtestatud piirväärtustega.

**Tabel 12.** Metallide leostumine Väätsa ja Järvakandi proovidest ning tavajäätmeteprügilasse ladestavatele jäätmetele kehtestatud piirväärtused (Prügilasse jäätmete... 2010)

| Proov              | Pb, µg/kg | Cd, µg/kg | Cr, µg/kg | Zn, µg/kg | Cu, µg/kg |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| V1–3               | 11,2      | 0,3       | 3,4       | 157,8     | 127,7     |
| J1–3               | 12,5      | 0,1       | 28,7      | 47,8      | <100      |
| J4–6               | 18,2      | 0,6       | 4,4       | <10       | <100      |
| J7–9               | 419,6     | 11,4      | 58,5      | 866,1     | 721,8     |
| <b>Piirväärtus</b> | 5 000     | 600       | 10 000    | 4 000     | 25 000    |

Kõikidest proovidest leostub metalle ühe kilogrammi proovi kuivaine kohta lubatud piirides. Seega on pakendiklaasijäätmed ohutud, et neid tavajäätmete prügilasse ladestada võiks. Ka sortimisest üle jääv jääk-klaas (J7–9) on tavajäätmete prügilasse ladestamiseks ohutu.

Pakendiklaasijäätmete leovete fütotoksilisuse testi tulemused on näha tabelis 13.

**Tabel 13.** Väätsa ja Järvakandi proovide leovete fütotoksilisuse testi tulemused ( $\pm$ standardhälve)

| Proov | Idanevuse määr | Idanevuse indeks |
|-------|----------------|------------------|
| V1–3  | 113 $\pm$ 6    | 144 $\pm$ 23     |
| J1–3  | 108 $\pm$ 7    | 145 $\pm$ 15     |
| J4–6  | 89 $\pm$ 9     | 95 $\pm$ 29      |
| J7–9  | 105 $\pm$ 3    | 119 $\pm$ 3      |

Tulemustest on näha, et Järvakandi valge klaasi (J4–6) proovi leovees seemnete idanevuse määr on väiksem võrreldes kontrollprooviga. Teiste proovide leovee korral negatiivset mõju seemnete idanevusele ei täheldatud. Kuigi leoveed ei ole fütotoksilised ei välista see, et leovees olevad metallid ei ole ohtlikud mullaorganismidele ja vette jõudes veeorganismidele. Hagner jt (2018) jõudsid oma uuringus järelduseni, et klaasirikastes pinnaseproovides kasvama pandud taimede juurte ja võrsete kasv ei erinenud

võrdlusproovides kasvanud taimede omast. Samas leidis mullaorganisme neis proovides oluliselt vähem kui võrdlusproovides.

### 3.4. Keskkonnaohtlikus

Proovide analüüside tulemuste võrdlus määruste „Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed“ (2012) ja „Prügilasse jäätmete vastuvõtmise kriteeriumid ja kord“ (2010) on kokku võetud tabelis 13, mille viimases reas on kõikide tulemuste põhjal tehtud koondjärelendus antud proovide potentsiaalse keskkonnoahu kohta.

**Tabel 13.** Orreforsi, Väätsa ja Järvakandi proovide keskkonnaohtlikkuse hinnang laboris valmistatud leovee analüüsi tulemuste põhjal.

|  | TP3D1 | TP3D2 | TP3D3 | TP3D4 | TP5MIX | V1-3 | J1-3 | J4-6 | J7-9 |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|------|------|------|------|
| Kas plii sisaldus vees on piisavalt väike, et tohiks juhtida keskkonda?      |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
| Kas kaadmiumi sisaldus vees on piisavalt väike, et tohiks juhtida keskkonda? |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
| Kas kroomi sisaldus vees on piisavalt väike, et tohiks juhtida keskkonda?    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
| Kas tsingi sisaldus vees on piisavalt väike, et tohiks juhtida keskkonda?    |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
| Kas vase sisaldus vees on piisavalt väike, et tohiks juhtida keskkonda?      |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
| Kas vee pH jääb lubatud piiridesse?  |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
| Piisavalt ohutu, et ladestada tavajäätmete prügilasse?                       |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
| Kas on ökotoksiline?   |       |       |       |       |        |      |      |      |      |
| Ohutu keskkonnale?   |       |       |       |       |        |      |      |      |      |

|                             |   |                                |                       |
|-----------------------------|---|--------------------------------|-----------------------|
| Alla piirväärtuse;<br>ohutu | Lähedal piirväärtusele;<br>mõningane mõju<br>seemnete idanevusele | Ületab piirväärtust;<br>ohtlik | Järeldust ei saa teha |
|-----------------------------|---|--------------------------------|-----------------------|

Kui juba üks uuritud parameetritest ületab piirnormi, võib proovi pidada keskkonnale ohtlikuks. Seega on keskkonnale ohtlikud eelkõige Rootsist võetud (TP3) proovid ning Eestist võetud pakendiklaasi sortimisest üle jääv jääk-klaasi proov. Samuti on potentsiaalselt keskkonnaohtlik Väätsa pakendiklaasijäätmetest võetud proov.

## KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärk oli uurida ladustatud klaasijäätmete omadusi ja hinnata nende ladustamisega kaasnevaid keskkonnamõjusid. Kristallklaasijäätmeid sisaldavad pinnaseproovid koguti Rootsist Orreforsi prügilast ja pakendiklaasijäätmete proovid Eestist Väätsa prügila ja Järvakandi Krynicki Glass OÜ ladustusplatsidelt. Uuriti klaasijäätmete fraktsioonilist ja liigilist koostist ning tehti laboris leoveed, mille füüsikalisi-keemilisi omadusi (pH, elektrijuhtivus, vees lahustuva süsiniku ja lämmastiku sisaldus, metallide sisaldus) uuriti. Lisaks viidi läbi segaolmejäätmete sortimisuuring ühes Eesti jäätmekäitluskeskuses.

Kristallklaasi jäätmetest leostub keskkonda metalle rohkem kui on lubatud veekogusse või pinnasesse juhitava heit- ja sademevee ohtlike ainete sisalduse piirväärtustega, mille kohaselt peab vees oleva plii sisaldus jääma alla 14 µg/l, kaadmiumi 5 µg/l, kroomi 50 µg/l, tsingi 50 µg/l ja vase 15 µg/l. Eestist võetud pakendiklaasijäätmetest tehtud metallianalüüsi tulemustest selgub, et kõige rohkem metalle leostub sortimisel üle jäävast jääk-klaasist, kus plii, kaadmiumi, tsingi ja vase sisaldus leovees ületab veekogusse või pinnasesse juhitava heit- ja sademevee ohtlike ainete sisalduse lubatud piirväärtuseid. Kuigi ka pakendiklaasist leostus vette metalle, on jäätmed piisavalt ohutud, et neid võiks ladestada tavajäätmete prügilasse. Teisalt aga ei ole võimalik, ega otstarbekas ladestada sadu tonne kristallklaasijäätmetega reostunud pinnast prügilasse (Rootsi) ega ole mõtet prügilasse viia ka pakendiklaasijäätmeid (Eesti), sest viimastest saaks uusi tooteid valmistada. Selleks, et võimalikku reostust vältida, tuleks ladustamiskohtades sademevesi koguda ja puhastada või ladustada klaasijäätmed kohta, kus neile vihm peale sadada ei saa (nt katta või ladustada katuse all).

Fütotoksilisuse test ei näidanud, et leovees olevad ained avaldaksid tugevat negatiivset mõju seemnete idanevusele. Leovesi võib sellegipoolest olla ohtlik mulla- ja veeorganismidele. Järgnevate uuringute käigus tuleks tähelepanu pöörata ka sellele aspektile.

Magistritöö käigus läbi viidud segaolmejäätmete sortimisuuringust selgus, et klaas moodustab prügilasse jõudvatest segaolmejäätmete massist  $2,61 \pm 1$  %. Seega on klaasi massi osakaal segaolmejäätmetes Säästva Eesti instituudi poolt 2013. aastal läbi viidud uuringuga võrreldes vähenenud.

Töö tulemuste põhjal võib järeldada, et klaasijäätmed ja nendega segunenud muud jäätmed ei ole täiesti keskkonnaohutud nagu üldjuhul arvatakse, sest neist võib leostuda välja metalle ja muid aineid. Pakendiklaasijäätmetest leostuvad metallid ei pruugi pärit olla klaasist endast, vaid muudest jäätmetest, mis klaasiga on segunenud. Samas ei ole tehtud veel piisavalt uuringuid aru saamaks, kui suurel määral klaasijäätmed keskkonda ohustada võivad. Kuna antud töö käigus mõõdeti metallide leostumist labori tingimustes, tuleks edasiste uuringute käigus uurida ladustuskohtades kogunevat vett, et teada saada kui palju tegelikult sealt erinevaid aineid välja leostub ja kaugele need levida võivad.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- Augustsson, A., Aström, M., Bergbäck, B., Elert, M., Höglund, L.O., Kleja, D.B. (2016b). High metal reactivity and environmental risks at a site contaminated by glass waste. – *Chemosphere*. Vol. 154, pp. 434–443.
- Augustsson, A., Söderberg, T., Järsjö, J., Äström, M., Olofsson, B., Balfors, B., Destouni, G. (2016a). The risk of overestimating the risk – metal leaching to groundwater near contaminated glass waste deposits and exposure via drinking water. – *Science of The Total Environment*. Vol. 566–567, pp. 1420–1431.
- British Glass. (2018). Glass products. [veebileht] <https://www.britglass.org.uk/about-glass/glass-products#off-canvas-menu> (16.05.2018).
- Certini, G., Scalenghe, R. (2006) Soils: Basic Concepts and Future Challenges. New York: Cambridge University Press, 328 p.
- U.S Geological Survey Home Page (USGS). (2016). Do Natural Processes Mitigate Contamination from Landfill Leachate? [veebileht] [https://toxics.usgs.gov/highlights/landfill\\_leachate.html](https://toxics.usgs.gov/highlights/landfill_leachate.html) (19.05.2018).
- Eesti Energia AS Iru elektrijaama Keskkonnaaruanne. (2016). Maardu: Eesti Energia AS Iru elektrijaam. [http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/iru\\_keskkonnaaruanne\\_2015.pdf](http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/iru_keskkonnaaruanne_2015.pdf) (19.05.2018).
- Eesti Pakendiringlus. (2018). Tutvustus. [veebileht] [http://www.pakendiringlus.ee/web2/?cat\\_ID=2](http://www.pakendiringlus.ee/web2/?cat_ID=2) (19.05.2018).
- Eesti Pandipakend. (2018). Tarbija. [veebileht] <http://www.eestipandipakend.ee/tarbija/> (19.05.2018).
- Eesti Taaskasutusorganisatsioon. (2018). [veebileht] <https://www.eto.ee/> (19.05.2018).
- Eestis tekkinud segaolmejäätmete, eraldi kogutud paberi- ja pakendijäätmete ning elektroonikaromu koostise uuring. (2013). Tallinn: SA Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus., Säätva Eesti Instituut. [http://www.envir.ee/sites/default/files/sortimisuuring\\_2013loplik.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/sortimisuuring_2013loplik.pdf) (19.05.2018).
- Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2008/98/EÜ. (vastu võetud 19.11.2008). – *Euroopa Liidu Teataja*. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0098&from=ET> (14.01.2018).

- Europe's Environment - The Dobrišš Assessment. (1995). /Eds. P. Bourdeau and D.A. Stanners. Copenhagen: European Environment Agency. 676 p.
- EVS-EN 12457-2:2003 standardmeetod: Characterisation of waste – Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges - Part 2: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 4 mm (without or with size reduction). <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-12457-2-2003> (19.05.2018).
- EVS-EN 14346:2007 standardmeetod: Characterization of waste – Calculation of dry matter by determination of dry residue or water content. <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-14346-2007> (19.05.2018).
- EVS-EN 15169:2007 standardmeetod: Characterization of waste – Determination of loss on ignition in waste, sludge and sediments. <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-15169-2007> (19.05.2018).
- Glass from Sweden. (2018). A short history of Orrefors – from window glass producer to world-famous art glass manufacturer. [veebileht] <http://www.glassfromsweden.com/history-of-orrefors.html> (19.05.2018).
- The European Container Glass Federation. (2016). Glass packaging closed loop recycling up to 75 % in the EU. <http://feve.org/wp-content/uploads/2016/11/FEVE-PR-Recycling-Data-2014-FINAL-02112016.pdf> (19.05.2018).
- Hagner, M., Romantschuk, M., Penttinen, O-P., Egfors, A., Marchand, C., Augustsson, A.** (2018). Assessing toxicity of metal contaminated soil from glassworks sites with a battery of biotests. – *Science of the Total Environment*. Vol. 613–614, pp. 30–38.
- History of Glass. (2018a). History of Glass. [veebileht] <http://www.historyofglass.com/> (16.05.2018).
- History of Glass. (2018b). Ingredients of Glass – What is Glass Made Of? [veebileht] <http://www.historyofglass.com/glass-making-process/glass-ingredients/> (19.05.2018).
- Hogland, M., Arina, D., Kriipsalu, M., Jani, Y., Kaczala, F., Salamao A-L., Orupõld, K., Pehme, K-M., Rudovica, V., Denafas, G., Burlakovs, J., Vinecevic-Gaile, Z., Hogland, W.** (2016). Remarks on four novel landfill mining case studies in Estonia and Sweden. – *Journal of Material Cycles and Waste Management*. Vol 20, No 2, pp. 1355–1363.
- Jani, Y., Burlaskov, J., Augustsson, A., Marques, M., Hogland, W.** (2018). Characterization and toxicity of hazardous wastes from an old Swedish glasswork dump. – *DIVA*.
- Jani, Y., Hogland, W.** (2014). Waste glass in the production of cement and concrete – A review. – *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Vol. 2, No. 3, pp. 1767–1775.
- Jani, Y., Hogland, W., Augustsson, A.** (2014). Specification the metal content of waste glass from an old glass landfill. – *Proceedings from Linnaeus ECO-TECH'14*. Kalmar, Sweden, pp. 123.
- Järvik, Mait.** Krynicky Glass OÜ-st. Autori intervjuu. e-kiri. Tartu. 10.01.2018.

- Jäätmeseadus. (vastu võetud 28.01.2004, viimati jõustunud 01.01.2018). – *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/114062013006?leiaKehtiv> (19.05.2018).
- Jäätmete ringlussevõtuks ettevalmistamise ja ringlussevõtu parimate praktikate kaardistus. (2017).  
 Tartu: OÜ Alkranel.  
[http://www.envir.ee/sites/default/files/jaatmete\\_ringlussevotuks\\_ettevalmistamise\\_ja\\_ringluss\\_evotu\\_parimate\\_praktikate\\_kaardistus.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/jaatmete_ringlussevotuks_ettevalmistamise_ja_ringluss_evotu_parimate_praktikate_kaardistus.pdf) (19.05.2018).
- Keskkonnaministeerium. (2017a). Jäätmed. [veebileht] <http://www.envir.ee/et/jaatmed> (19.05.2018).
- Keskkonnaministeerium. (2017b). Pakendid. [veebileht] <http://www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/jaatmed/pakendid> (19.05.2018).
- Keskkonnaministeerium. (2018). Klaas. [http://www.envir.ee/sites/default/files/huvitavaid\\_fakte\\_klaas.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/huvitavaid_fakte_klaas.pdf) (07.01.2018).
- KK82: Jäätmed. (andmed uuendatud 15.12.2017). – *Eesti Statistika andmebaas*. <http://pub.stat.ee/> (14.01.2018).
- KK94: Kodumaine materjaliväljund. (andmed uuendatud 21.12.2017). – *Eesti Statistika andmebaas*. <http://pub.stat.ee/> (18.01.2018).
- Kriipsalu, M., Koppel, L.** (2013). Kudjape prügimäe uus elu. – *Keskkonnatehnika*. Nr 5, lk 36-37.
- Kriipsalu, M., Maastik, A., Truu, J.** (2016). Jäätmekäitlus ja pinnase tervendamine. Tallinn: TTÜ kirjastus. 376lk.
- Krynicky Glass recycling OÜ jäätmeluba nr L.JÄ/325688. (2014). Keskkonnalubade infosüsteem KLIS.  
[https://eteenus.keskkonnaamet.ee/?page=eklis\\_view&pid=9752597&desktop=0&u=20180212153449](https://eteenus.keskkonnaamet.ee/?page=eklis_view&pid=9752597&desktop=0&u=20180212153449) (19.05.2018).
- Krynicky Recykling S.A. (2018). History. [veebileht] <http://krynicky.pl/en/company/history/> (19.05.2018).
- McMahon, M.** (2017). What is Glass. – *WiseGEEK*. [veebileht] <http://www.wisegeek.org/what-is-glass.htm> (19.05.2018).
- McMorrough, J., Wheeler, D.** (2013) The Architecture Reference & Specification Book: Everything Architects Need to Know Every Day. London: Rockport Publishers. 272 p.
- Nathanson, J.** (2010). Solid-waste management. [veebileht] Encyclopaedia Britannica.  
<https://www.britannica.com/technology/solid-waste-management#ref72383> (07.01.2018).
- Nõukogu direktiiv 1999/31/EÜ, 26. aprill 1999, prügilate kohta. (Vastu võetud 1999). – *Euroopa Liidu Teataja*.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:31999L0031&from=ET> (12.05.2018)
- Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases. (Vastu võetud 11.08.2010, viimati jõustunud 21.08.2010). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/13348997> (14.05.2018).



- Olemasoleva jäätmekäitluse kirjeldus. (2014). Tallinn: Keskkonnaministeerium.  
[https://www.envir.ee/sites/default/files/jaاتمekaatluse\\_hetkeolukord.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/jaاتمekaatluse_hetkeolukord.pdf) (19.05.2018).
- OÜ Eesti Pakendiringlus 2016. aasta tegevusaruanne. (2017). Maardu: OÜ Eesti Pakendiringlus.  
[http://www.pakendiringlus.ee/web2/aruanded/Eesti\\_Pakendiringlus\\_tegevusaruanne\\_2016.pdf](http://www.pakendiringlus.ee/web2/aruanded/Eesti_Pakendiringlus_tegevusaruanne_2016.pdf)  
(19.05.2018).
- Pakendiaktsiisi seadus. (vastu võetud 19.12.1996, viimati jõustunud 01.07.2017). *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/116062017021> (19.05.2018).
- Pakendijäätmete sorteerimise juhend. (2018). Eesti Taaskasutusorganisatsioon.  
<https://www.eto.ee/wp-content/uploads/PAKENDIJ%C3%84%C3%84TMETE-SORTIMISJUHEND.pdf> (19.05.2018).
- Pakendijäätmete taaskasutamine 2004–2015. (andmed uuendatud 25.10.2017). – *Pakendiregister*.  
[https://pakend.keskkonnainfo.ee/?page=pub\\_stat&u=20180120235406](https://pakend.keskkonnainfo.ee/?page=pub_stat&u=20180120235406) (19.05.2018).
- Pakendiseadus. (vastu võetud 21.04.2001, viimati jõustunud 17.04.2017). – *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/918049?leiaKehtiv> (19.05.2018).
- Prügihunt. (2009). Jäätmejaamad. [veebileht] <http://www.tallinn.ee/est/prygihunt/Jaاتمejaamad>  
(19.05.2018).
- Prügilasse jäätmete vastuvõtmise kriteeriumid ja kord. (2010). Tallinn: Säästva Eesti Instituut.  
[veebileht] [http://www.envir.ee/sites/default/files/prugila\\_jaاتمete\\_votmise\\_kord.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/prugila_jaاتمete_votmise_kord.pdf)  
(19.05.2018).
- Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed. (Vastu võetud 29.11.2012, viimati jõustunud 01.01.2017). – *Riigi Teataja*  
<https://www.riigiteataja.ee/akt/116122016006?leiaKehtiv> (14.05.2018).
- Riigi jäätmekava 2014–2020. (2014). Tallinn: Keskkonnaministeerium.  
[http://www.envir.ee/sites/default/files/riigi\\_jaاتمekava\\_2014-2020.pdf](http://www.envir.ee/sites/default/files/riigi_jaاتمekava_2014-2020.pdf) (14.01.2018).
- Schmitz, A., Kaminski, J., Scalet B.A., Soria, A.** (2011). Energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions of the European glass industry. – *Energy Policy*. Vol 39, No. 1, pp. 142–155.
- Sheffield Assay Office. (2013). Lead Crystal Glass Factsheet. [veebileht]  
<http://www.assayoffice.co.uk/latest-news-and-press/lead-crystal-glass-factsheet> (16.05.2018).
- Taaskasutusorganisatsiooni aruanne. (2017). Tallinn: Tootjavastutusorganisatsioon OÜ.  
[http://media.voog.com/0000/0040/8431/files/TVO\\_tegevusaruanne\\_2016.pdf](http://media.voog.com/0000/0040/8431/files/TVO_tegevusaruanne_2016.pdf) (18.01.2018).
- The EU glass industry 2015–2016. (2016). Glass International. [http://www.glass-international.com/contentimages/subscriber-pdf/Glass\\_Alliance.pdf](http://www.glass-international.com/contentimages/subscriber-pdf/Glass_Alliance.pdf) (09.04.2018).
- Tootjavastutusorganisatsioon. (2018). Meist. [veebileht] <http://www.tvo.ee/meist> (16.05.2018).
- Tsai, C.L., Krogramm, U., Strom, P.F.** (2009). Handling leachate from glass cullet stockpiles. – *Waste Management*. Vol. 29, pp. 1296–1305.

- Uri, U., Kulm, N.** (2009). Elektrijuhtivuse kasutamine reostusareali määramisel. 6lk. – *Urisev Kobras*. Nr 2.
- USEPA.** (1998). Brownfields Assessment Demonstration Pilot. – Ford City, PA. EPA 500-F, pp. 98-186
- Väätsa Prügila. (2018) Kontakt. [veebileht] <http://www.prygila.ee/kontakt/vaatsa-prugila/> (19.05.2017).
- Ülevaade Eesti Pandipakend OÜ tegevusest 2016. aastal. (2017). Tallinn: Eesti Pandipakend OÜ. <http://www.eestipandipakend.ee/wp-content/uploads/2012/01/EPP-tegevusaruanne-2016.pdf> (19.05.2018).
- Ülevaade MTÜ Eesti Taaskasutusorganisatsiooni tegevusest aastal 2016. (2017). Tallinn: Eesti Taaskasutusorganisatsioon MTÜ (ETO). [https://www.eto.ee/wp-content/uploads/%C3%9Clevaade MT%C3%9C Eesti Taaskasutusorganisatsioon tegevuses t 2016.pdf](https://www.eto.ee/wp-content/uploads/%C3%9Clevaade_MT%C3%9C_Eesti_Taaskasutusorganisatsioon_tegevuses_t_2016.pdf) (19.05.2018).

# **RESEARCH ABOUT ENVIRONMENTAL ASPECTS OF WASTE GLASS STORAGE**

## **SUMMARY**

The aim of the master's thesis was to examine properties of stored waste glass and to assess if it has any impact on environment. Crystal glass rich soil samples were collected from Orrefors landfill in Sweden and packaging glass waste samples from storage sites at Väätsa landfill and Krynicky Glass OÜ in Estonia. Waste glass fractions and types were examined, also the physical-chemical properties (pH, conductivity, water soluble carbon and nitrogen content, metal content) and phytotoxicity of leachate water made in laboratory conditions. In addition, a sorting study of mixed municipal waste was carried out at one of the Estonian waste management centres.

According to the limit values, content of lead in water must be less than 14 µg/l, cadmium 5 µg/l, chrome 50 µg/l, zinc 50 µg/l and copper 15 µg/l. The amount of metals leaching from crystal glass waste and packaging glass waste residue glass are higher than allowed with these limit values. However, all the samples are safe enough to be deposited in non-hazardous waste landfills. On the other hand, it is not possible or practical to deposit hundreds of tons of contaminated soil (Sweden) or packaging glass waste (Estonia) to the landfill. Instead, packaging glass waste can be used to produce new items. In order to avoid potential pollution, it is necessary to collect and clean rainwater or store glass waste at a place where rainwater cannot reach it (for example build roof or cover it).

The phytotoxicity test did not show that the substances in leachates have any negative effect on seed germination. Leachate can still be dangerous to soil- and aquatic organisms. In following studies, attention should also be paid to this aspect.

The sorting study of mixed municipal waste that was carried out during the thesis revealed that glass forms  $2,61 \pm 1$  % of the mass of mixed municipal waste. Thus, the percentage of

glass in mixed municipal waste has decreased compared to the survey conducted by Sustainable Estonian Institute in 2013.

It can be concluded that glass waste and other wastes that are mixed with it are not completely safe to environment as it is commonly believed, as metals and other substances can leach out of them. Metals leaching from packaging glass waste may not origin from glass itself but from wastes that are mixed with glass. However, there is not enough research done to understand how big impact glass waste has on environment. As this thesis measured leaching under laboratory conditions, further researchers should examine leachate water from storage sites in order to find out how much different substances actually leak out of it and how far can they spread.

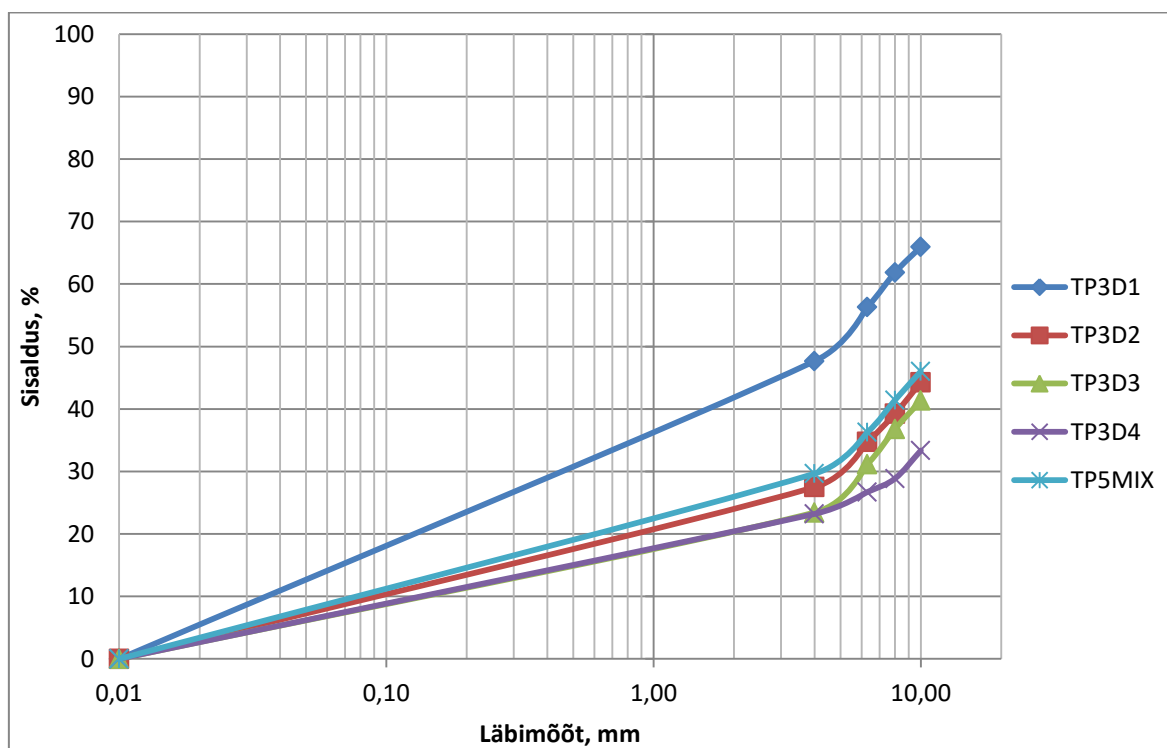
**LISAD**

## Lisa 1. Orreforsi proovide sõelanalüüsi tulemused

**Tabel 14.** Orreforsi proovide sõelanalüüsi arvulised tulemused ning klaasi mass proovist (g).

| Proov  | Üle 10 mm | 8–10 mm | 6,3–8 mm | 4–6,3 mm | Alla 4 mm | Kokku  | Klaas* |
|--------|-----------|---------|----------|----------|-----------|--------|--------|
| TP3D1  | 806,6     | 97,7    | 131,4    | 204,7    | 1129,1    | 2369,5 | 455,2  |
| TP3D2  | 1174,1    | 105,6   | 94,8     | 152,9    | 579,0     | 2106,4 | 835,5  |
| TP3D3  | 1233,0    | 95,9    | 118,3    | 162,3    | 492,5     | 2101,0 | 704,5  |
| TP3D4  | 1096,7    | 73,9    | 35,6     | 57,6     | 381,8     | 1645,6 | 212,9  |
| TP5MIX | 1186,7    | 101,4   | 113,4    | 145,3    | 651,9     | 2198,7 | 13,9   |

Märkus. Tähis „\*“ – klaasi leidus ainult üle 10 mm fraktsioonis



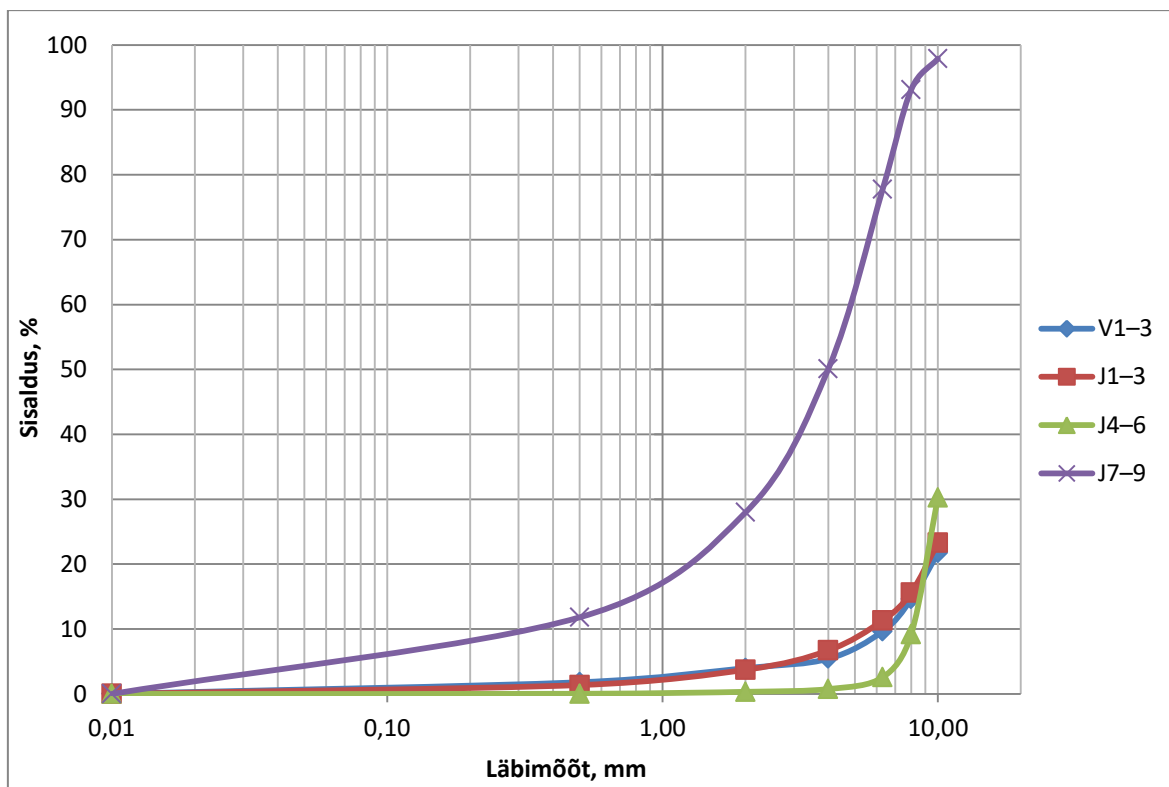
**Joonis 10.** Orreforsi proovide sõelgraafik.

## Lisa 2. Väätsa ja Järvakandi proovide sõelanalüüsi ja liigiti sortimise tulemused

**Tabel 15.** Väätsa ja Järvakandi proovide sõelanalüüsi ja liigiti sortimise arvulised tulemused (g).

| Proov | Üle 10 mm | 8–10 mm | 6,3–8 mm | 4–6,3 mm | 2–4 mm | 0,5–2 mm | Alla 0,5 mm | Metall* | Prügi* | Kokku  |
|-------|-----------|---------|----------|----------|--------|----------|-------------|---------|--------|--------|
| V1    | 4425,3    | 428,4   | 287,4    | 243,4    | 85,5   | 143,5    | 101,6       | 77,2    | 435,8  | 6228,1 |
| V2    | 4294,1    | 378,0   | 240,7    | 222,3    | 76,2   | 91,6     | 128,8       | 28,4    | 541,5  | 6011,6 |
| V3    | 4312,0    | 379,3   | 297,1    | 237,5    | 78,1   | 128,2    | 68,9        | 73,0    | 528,6  | 6102,7 |
| J1    | 3706,0    | 350,1   | 213,7    | 210,4    | 128,3  | 109,4    | 58,9        | 18,2    | 200,9  | 4995,9 |
| J2    | 3724,5    | 326,0   | 192,7    | 196,3    | 138,5  | 109,3    | 65,9        | 37,5    | 213,8  | 5004,5 |
| J3    | 3577,2    | 422,1   | 211,5    | 254,8    | 161,4  | 119,3    | 71,2        | 12,9    | 122,9  | 4952,3 |
| J4    | 4232,8    | 1310,8  | 451,8    | 125,5    | 27,6   | 13,4     | 0,4         | 0,0     | 0,0    | 6162,3 |
| J5    | 4350,6    | 1237,3  | 374,1    | 98,4     | 24,9   | 15,6     | 0,9         | 0,0     | 0,0    | 6101,8 |
| J6    | 4190,9    | 1314,0  | 389,8    | 109,4    | 24,5   | 26,0     | 3,5         | 0,0     | 0,0    | 6058,1 |
| J7    | 119,0     | 291,0   | 915,0    | 1732     | 1411,6 | 1007,5   | 735,2       | 0,0     | 0,0    | 6211,3 |
| J8    | 157,2     | 264,9   | 937,1    | 1730     | 1382,5 | 1004,8   | 718,7       | 0,0     | 0,0    | 6195,8 |
| J9    | 116,0     | 330,7   | 1000,4   | 1681,8   | 1318,5 | 990,1    | 740,5       | 0,0     | 0,0    | 6178,0 |

Märkus. Tähis „\*“ – mass kogu proovist



**Joonis 11.** Väätsa ja Järvakandi proovide sõelglaafik.



**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Helari Buht,

Sünniaeg 06.09.1994,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö Uuring klaasijäätmete ladustamisega seonduvatest keskkonnohtudest mille juhendaja(d) on Mait Kriipsalu ja Kaja Orupõld,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(allkiri)

Tartu, 22.05.2018

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)